



Ciencia, tecnología e innovación en ingeniería, como aporte a la competitividad del país

Foros Académicos
Reunión Nacional y Expoingeniería
ACOFI 2009

Edición
Vicente Albéniz Laclaustra
Escuela Colombiana de Ingeniería

Luis Alberto González Araujo
Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería

**ASOCIACIÓN COLOMBIANA
DE FACULTADES DE INGENIERÍA**

Carrera 68D Núm. 25B – 86 oficina 205
Edificio Torre Central, Bogotá D.C., Colombia, Suramérica
PBX: + 57(1) 427 3065
acofi@acofi.edu.co www.acofi.edu.co

CONSEJO DIRECTIVO DE ACOFI

Presidente

Francisco Javier Rebolledo Muñoz

Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá

Vicepresidente

Adolfo León Arenas Landínez

Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga

Consejeros

Elkin Libardo Ríos Ortiz

Universidad de Antioquia, Medellín

Héctor Vega Garzón

Universidad de La Salle, Bogotá

Javier Páez Saavedra

Universidad del Norte, Barranquilla

Pedro José Guardela Vásquez

Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias

Diego Fernando Hernández Losada

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Piedad Gañán Rojo

Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín

Alberto Ocampo Valencia

Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira

Director Ejecutivo

Eduardo Silva Sánchez

Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá

Revisora Fiscal

Luz Mery Cuervo Garzón

ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA

Asistente de la Dirección Ejecutiva

Luis Alberto González Araujo

Asistente Administrativa

Arley Palacios Chavarro

Contador

Ariel Palomino Ulloa

Asistentes de Proyectos

José Miguel Solano Araujo

Simón Andrés De León Novoa

Secretaria de Dirección

Janeth Pineda Molina

Auxiliares de Oficina

Martha Rodríguez Igua

Hernán Reyes Díaz

ISBN: xxxxxxxxxxxxxxxxx

Marzo 2010

Impreso en Colombia

Diseño e impresión

Opciones Gráficas Editores Ltda.

www.opcionesgraficas.com

Las opiniones expresadas en este libro no son necesariamente las de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería



Presentación

En este libro se ha integrado el aporte de directivos y profesores de las facultades de ingeniería, tanto en los Foros temáticos realizados a lo largo del año, como en la Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009, celebrada en la ciudad de Santa Marta, entre el 16 y el 18 de septiembre. Asimismo recoge las conferencias magistrales de los invitados nacionales y extranjeros, los paneles, el texto de la declaración de Santa Marta y concluye con las más destacadas recomendaciones de las Mesas de Trabajo.

El tema central, al cual se refieren todas las aportaciones y que centró la convocatoria del año 2009, se tituló “Ciencia, tecnología e innovación en ingeniería como aporte a la competitividad del país”. El objetivo propuesto de generar un espacio académico de análisis y reflexión sobre el vínculo de la universidad con el sector productivo y el Estado, desde la perspectiva de las facultades de ingeniería y en relación con los procesos de innovación, ciencia y tecnología y su impacto en la sociedad, se desarrolló con la mirada en tres ejes temáticos:

- Ciencia, tecnología e innovación en la formación de ingenieros.
- La gestión del conocimiento científico y tecnológico para la innovación, la competitividad y el compromiso social.
- Generación de ciencia, tecnología e innovación en las facultades de ingeniería.

Las tres palabras clave: formación, gestión y generación, siguen las pautas del trabajo prospectivo del año 2006 publicado por ACOFI con el título “El ingeniero colombiano del año 2020, retos para su formación”

El trabajo del año 2009 tuvo como componente adicional, la muestra científica de los grupos de investigación de las facultades de ingeniería que fueron invitados especiales a la primera exposición de experiencias exitosas y a la primera reunión de los grupos de investigación con entidades interesadas del sector público y del sector productivo.

Este libro, como los tres anteriores, ha tenido la fortuna de contar como sus editores al profesor Vicente Albéniz Laclaustra y al ingeniero Luis Alberto González Araujo, a quienes en nombre del sector académico de la ingeniería colombiana, agradecemos nuevamente su dedicación y sus desvelos.

Bogotá D.C., febrero de 2010

Eduardo Silva Sánchez
Director Ejecutivo ACOFI



Introducción

Esta publicación está elaborada con las aportaciones de los participantes en los Foros académicos preparatorios y en la Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009.

El texto está organizado en dos capítulos:

- Un primer capítulo que presenta el trabajo de los Foros preparatorios que tuvieron lugar en las ciudades de Barranquilla, Medellín y de Manizales, con sus correspondientes conferencias, experiencias académicas, paneles y mesas de trabajo.
- El segundo capítulo, dedicado a la XXIX Reunión Nacional, recoge los contenidos de las conferencias, las aportaciones de los paneles, las propuestas de las mesas de trabajo, el diálogo de rectores y las ponencias y pósteres presentados.

Finalmente, como anexo, se recoge el listado de los asistentes a los Foros y a la Reunión Nacional.

Todas las aportaciones se han estructurado alrededor de los objetivos propuestos:

- Ciencia, tecnología e innovación en la formación de ingenieros.
- La gestión del conocimiento científico y tecnológico para la innovación, la competitividad y el compromiso social.
- Generación de ciencia, tecnología e innovación en las facultades de ingeniería.

Dado el carácter de los Foros y de la Reunión Nacional, en la mayor parte de los textos se ha mantenido el carácter espontáneo propio de la comunicación verbal.

Contenido



Capítulo 1. Foros Académicos	11
Primer Foro	15
1. Conferencia. La universidad del conocimiento <i>Carlos Enrique Arroyave Posada, Vicerrector Académico, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito</i>	17
2. Panel	26
Segundo Foro	39
1. Panel	41
Tercer Foro	47
1. Conferencia Cómo formar ingenieros para la innovación. <i>Mauricio Duque Escobar, Universidad de los Andes, Bogotá</i>	49
2. Panel	55
Capítulo 2. Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009	57
Conferencias	61
Primera Conferencia: <i>Gabriel Burgos Mantilla, Viceministro de Educación Superior, Ministerio de Educación Nacional</i>	63
Segunda Conferencia: Una mirada a los esquemas brasileiros de apoyo a la investigación y el desarrollo <i>Adnei Melges de Andrade, Director del Instituto de Electrónica y Energía, Universidad de Sao Paulo, Brasil.</i>	69
Tercera Conferencia: Ciencia e Ingeniería frente a los retos de la revolución nanoescalar <i>Edgar Emir González, Director Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar "nanocitec", Coordinador General Programa Cáncer y Nanotecnología y Profesor de la Pontificia Universidad Javeriana.</i>	78
Cuarta Conferencia: Los retos del desarrollo tecnológico y la transferencia a la industria por la academia <i>Rakesh Kumar Soni, Director y Profesor del Departamento de Química de la Chaudhary Charan Singh University.</i>	81
Quinta Conferencia: El desarrollo sostenible, un reto PARA la ingeniería <i>Goran Wall, Profesor asociado de Chalmers University of Technology, Sweden. Miembro del Comité UNESCO-EOLSS.</i>	91
Sexta Conferencia: Instituto de Innovación Industrial <i>Ronald Pérez, Vicedecano de Asuntos Académicos y Administrativos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Wisconsin, EE.UU.</i>	101

Séptima Conferencia: Formar ingenieros innovadores es solo una parte del camino hacia la innovación <i>Mauricio Duque Escobar. Profesor Investigador, Universidad de los Andes.</i>	108
Octava Conferencia: Colaboración India – Estados Unidos para la educación en ingeniería: un modelo para la colaboración global <i>Krishna Murti Vedula. Director Ejecutivo de la IUCEE, Presidente electo de IFEES y Profesor de la Universidad de Massachusetts - Lowell, EE. UU.</i>	116
Novena Conferencia: Marco actual de política de ciencia, tecnología e innovación <i>Jorge Alonso Cano Restrepo. Director de Desarrollo Tecnológico e Innovación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS.</i>	122
Décima Conferencia: Resultados de las convocatorias de grupos y proyectos de investigación e innovación 2008, COLCIENCIAS. Discusión y propuestas <i>Carlos Fonseca Zárate. Director de Fomento a la Investigación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS.</i>	126
Paneles y Diálogo de Rectores	128
1. Primer Panel. Generación de ciencia tecnología e innovación	131
2. Segundo Panel. Gestión del conocimiento científico y tecnológico	134
3. Diálogo de Rectores	?
Mesas de Trabajo	145
1. Mesa de Trabajo Número 1	147
2. Mesa de Trabajo Número 2	150
3. Mesa de Trabajo Número 3	153
Ponencias Orales, pósteres y expoingeniería	157
Anexo	161



Capítulo I

Foros Académicos



En el año 2009 se realizaron tres Foros Académicos, que desarrollaron los tres ejes planteados, en las ciudades de Barranquilla, Medellín y Manizales:

- La gestión del conocimiento científico y tecnológico para la innovación, la competitividad y el compromiso social.
- Generación de ciencia, tecnología e innovación en las facultades de ingeniería.
- Ciencia, tecnología e innovación en la formación de ingenieros.

En este Capítulo se destacan los aspectos más importantes de las *conferencias* y los *paneles* desarrollados en cada uno de los Foros.

Primer Foro

Tuvo lugar el día 24 de abril de 2009, en el Auditorio de la Universidad del Norte de la ciudad de Barranquilla. La conferencia estuvo a cargo de Carlos Enrique Arroyave Posada, Vicerrector Académico de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá. En el panel participaron Mariano Ghisays, Gerente de Super Brix S.A., Barranquilla y Marco Sanjuan, Director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte.

I. Conferencia

La universidad del conocimiento

Carlos Enrique Arroyave Posada, Vicerrector Académico
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Quiero agradecer a ACOFI por la invitación a participar en este foro, sobre un tema que me parece esencial para el país y me satisface el poder profundizar en su análisis, en compañía de los colegas aquí presentes. Teniendo en cuenta el objetivo del evento, he nombrado la presentación como “La Universidad del Conocimiento”; parece de Perogrullo, pero voy a tratar de mostrar que no es así. Vale la pena reconocer esta figura como un nuevo reto, de manera que sigamos haciendo las cosas mucho mejor.

He dividido los temas, comenzando por revisar lo que ha sido nuestra universidad del Siglo XX. Lógicamente, tenemos que enmarcarnos en las condiciones actuales de la que conocemos como la Sociedad del Conocimiento. Esto nos conduce a tener una nueva mirada de lo que es la universidad del Siglo XXI, proyectándola a lo que deben ser nuestras escuelas de ingeniería. Luego, como aspectos centrales, se tratan el desarrollo para la innovación y la gestión para la transferencia del conocimiento.

Para comenzar, vale la pena reflexionar acerca de un aspecto del que no tenemos duda: la situación en la que ha transcurrido la vida de la universidad colombiana a lo largo del siglo XX y en particular en las últimas décadas. Una universidad que, en general, ha estado centrada en su quehacer y relativamente despreocupada de lo que sucede en el entorno, sin mucha preocupación por la pertinencia de la actividad universitaria. De esta forma, el triángulo de Sábato, de la interacción entre universidad, empresa y estado, no existió. Entre ellos hubo toda la independencia que se pudiera y, como resultado, la universidad sobresalía por algunas de sus labores, en particular, por la formación de los profesionales, sin tener en cuenta si servían o no.

En dicho marco, otra de las características de nuestras universidades ha sido el bajo porcentaje de profesores con formación de alto nivel, del tipo de los doctorados y en este sentido, no podemos olvidar que si queremos hacer algo bueno en la universidad, lo profesores deben ser de excelente calidad. Es ineludible que debamos reconocer éste como el primero de los grandes retos.

Los resultados alcanzados están en concordancia con lo anterior; por eso, en el período 1960-2004, de más de dos millones de graduados en la educación superior colombiana, sólo unos 30.000 eran de maestría, escasamente 313 de doctorado y de estos 13 de ingeniería. Análogamente, en el año 2004, mientras en Colombia se tenían 44 programas de doctorado, en Brasil eran 850 y se sabe que hoy rindan el millar.

Para imaginarnos cómo debe ser la universidad colombiana de estos y los próximos tiempos, debemos reconocer que hacemos parte de una sociedad globalizada, la cual está caracterizada por dos aspectos: la Sociedad del Conocimiento y la Sociedad de la Información. Estos aspectos nos llevan a reconocer el conocimiento como factor fundamental de la producción de riqueza y a soportarnos en las TIC como condición de buen desempeño. Ha sido una situación que no hemos buscado; nos han llevado a ella, tenemos que aceptarla y buscar cómo salir airosos de este trance.

Para contextualizarnos en esta Sociedad del Conocimiento, es bueno mirar la ecuación que describe la generación de riqueza de las empresas, los territorios y los países, según la cual, los factores de la producción antes estuvieron centrados en el capital, la tierra (hoy los recursos naturales) y la mano de obra:

Los estudios de las últimas cuatro décadas indican que a estos factores se les ha sumado un cuarto factor que es el conocimiento, la innovación, el factor conocimiento para la solución de problemas. Adicionalmente, hay que conocer la interacción entre estos factores y por esto se incluye esta sumatoria en la ecuación, pero no queda duda que cada día con mayor énfasis se torna importante el conocimiento dentro de la ecuación:

$$\text{PIB} = f(\text{K}, \text{Rn}, \text{T}, \text{Co}, \Sigma \mu_{jm})$$

Donde:

- PIB: Crecimiento económico
- K: Capital
- Rn: Recursos naturales
- T: Trabajo
- Co: Conocimiento
- $\Sigma \mu_{jm}$: Interacción de factores

Esta es la gran transformación que hemos vivido en las últimas décadas en relación con nuestro desarrollo económico, que finalmente influye en el desarrollo social.

Si veníamos de la sociedad de la memoria y sin lugar a duda observándola desde la universidad no nos queda duda que la podemos llamar así. Llegamos a la sociedad del conocimiento y lo que esperamos es la entrada en la sociedad del aprendizaje; una sociedad de aprendizaje en el entorno y es la que nos relaciona con un aprendizaje permanente que hace que la formación que brindemos en la universidad y la mirada con la que miramos el conocimiento nos permita ser novedosos.

Lo anterior se traduce en la evolución del triángulo de Sabato y que hoy, de una manera más sofisticada, se maneja como la triple hélice, teniendo por un lado la uni-

versidad, con un propósito fundamental que es el nuevo conocimiento; la empresa cuyo propósito fundamental una mayor productividad, un punto de vista netamente económico y en general la sociedad, reconociendo que las anteriores son parte de la misma, cuyo interés es propiamente social con una mayor calidad de vida de todas las personas. Esta es la nueva situación, una situación bastante diferente a la que veníamos manejando en nuestra universidad, que nos impone unos grandes retos y a la que pienso, por fortuna, estamos intentando responder.

Tenemos un Intercambio de conocimiento fundado en TIC, un incremento generalizado de la comunicación y el fortalecimiento de la vida en red. Esto lleva a la idea de que característica de la Sociedad del Conocimiento es el compartir, cuando por otro lado se concluye que es el competir. Esto justifica situaciones como el incremento sustancial de la cooperación internacional, pero por el otro lado, la importancia creciente de las clasificaciones internacionales de universidades.

Podemos afirmar que nos ha llegado el reto de ubicarnos de la mejor manera posible en esta Sociedad del Conocimiento. En consecuencia, entre los factores a considerar para lograr un buen posicionamiento, debemos incluir:

1. Los doctores graduados que tenemos en este momento siguen siendo muy escasos. Si observamos las cifras recientes, encontramos que estamos muy rezagados frente países con los que nos podamos comparar: Quedamos completamente minimizados con relación a Brasil que en este sentido ha desarrollado una gran labor, pues hoy forman cerca de 10.000 doctores por año. Colombia, por su parte, no alcanza aún los 100; situación bastante llamativa y que nos tiene que orientar a buscar soluciones.
2. En relación con el número de investigadores, se puede hablar de un crecimiento constante durante los años noventa, pero de un estancamiento relativo durante los últimos años, alrededor de un poco más de 10.000 profesionales dedicados cotidianamente a las labores de generación de conocimiento científico.

Cuando la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo, en el año de 1994, nos decía que en el año 2000 Colombia debería tener 20.000 investigadores, no estaba pensando que muchos de los investigadores de este momento y los que se estaban formando rápidamente pasarían al periodo de inactividad y que esta meta se iba a tornar mucho más difícil de cumplir.

Los esfuerzos que se empiezan a incrementar en COLFUTURO, COLCIENCIAS y otras entidades, han tenido que comenzar a tener en cuenta que buena parte de los doctores que hay que formar en los próximos años tienen que ir a sustituir a los que se están retirando.

Contamos con una cantidad de investigadores, que considero no nos merecemos porque deberían ser cuatro o cinco veces más. Una parte de ellos, en este momento, vinculados en la universidad. Esos investigadores están agrupados en

diferentes áreas y formas de trabajo que orienta COLCIENCIAS, según los grupos de investigación y que nos muestra que para el 2005 los grupos de investigación según la clasificación según COLCIENCIAS tenía una distribución en la que de más o menos 2.365 grupos, menos del 10 % correspondían a ingeniería y tecnología, siendo este un aspecto preocupante porque vemos una orientación bastante grande a las ciencias sociales y humanas, mucho más de una tercera parte de los grupos están en esta área, que lógicamente es fundamental, pero estamos convencidos, al menos, los del mundo de la ingeniería de que deberían ser muchos más.

3. Producto de este trabajo tenemos resultados de publicación de los grupos de investigación, pero son aún bajos los resultados de innovación, lo cual se refleja en el bajo número de patentes. Hoy nos interesa mucho más la innovación y vale la pena recordar cómo es nuestro comportamiento cuando nos miden desde el punto de vista de las patentes; nuestra presencia en este mundo y, en consecuencia, nuestro gran indicador de innovación es bastante deficiente. Se encuentran datos como:

- En la oficina de patentes de los EEUU, en 1985, patentaron 12 argentinos, 15 venezolanos, 30 brasileños, 50 coreanos y no hubo colombianos.
- En la misma oficina, en 1998, fueron 29 venezolanos, 46 argentinos, 77 mexicanos, 80 brasileros, 3.000 coreanos.
- En el 2002 en la OMPI: 36 colombianos, 132 mexicanos, 2500 coreanos.
- En el 2006 en la OMPI: 29 colombianos, 176 mexicanos, 5900 coreanos.

Análogamente, algunos datos sobre la capacidad innovadora de nuestras empresas en 2004, indican que el número de las que reportaron acciones relacionadas, fue de:

- Tecnologías incorporadas a capital: 3.354
- Tecnologías de la gestión: 2.649
- Tecnologías transversales: 3.287
- Proyectos de I&D: 382
- Capacitación tecnológica: 3.109

Esto significa que los principales esfuerzos empresariales en innovación, en épocas recientes, han estado dirigidos a la capacitación, lo cual es muy importante, pero no suficiente, pues finalmente se genera muy poco conocimiento propio.

Otro aspecto es el relacionado con la exportación del conocimiento o exportación con contenido tecnológico. En 2004, si nos comparamos con países como Filipinas, Malasia, Chile, Venezuela, estamos de nuevo en una situación desfavorable. Sólo el 5% de las exportaciones, de ese momento, tenían un contenido tecnológico apreciable, es decir, el conocimiento que exportamos es relativamente bajo; eso para nadie ha sido un secreto pero lo tenemos que recordar; porque en la ingeniería tenemos mucho que decir y hacer.

Lo anterior sale a relucir cuando nos miden, y como ustedes saben, vienen midiendo la competitividad de un conjunto importante de países desde hace ya

casi una década. En particular, El Foro Económico Mundial ha venido aplicando una tecnología bastante interesante, que desafortunadamente ha mostrado como Colombia cada que avanza el tiempo, va quedando más atrás de la clasificación de competitividad internacional. Comenzamos en el 2003- 2004 siendo parte del grupo de los 60 primeros países y en la clasificación del 2008 estábamos en el puesto 69; hemos ido hacia atrás a medida que se abre el abanico de países clasificados y en esta clasificación tienen en cuenta una serie de grandes factores entre los que se incluye la innovación. En este momento, Colombia es el país 72 en innovación.

Es necesario entonces ubicarnos como universidades y como escuelas y facultades de ingeniería en esta nueva sociedad. Creo que queda claro que las demandas actuales son diferentes a las que se tenían hace 15 o 20 años, y que podemos afirmar que una universidad será exitosa en la Sociedad del Conocimiento, si es una universidad del conocimiento, una universidad productora, aplicadora y transmisora de conocimiento para la globalidad. En la actualidad, la universidad del Siglo XIX, la universidad de Humboldt, es una universidad válida aún en muchos casos pero no la única y esto es muy importante considerarlo.

Se puede decir que esa universidad del conocimiento, que en sí es un mundo que parte de lo curricular como núcleo, tiene una serie de componentes internos que hacen que sea efectivamente una universidad exitosa en la sociedad del conocimiento, pero que además se debe reconocer como parte de un conjunto de otras entidades en las que aparecen el gobierno, el resto de la academia, otras instituciones del conocimiento, la empresa, y la sociedad en general, que conforman esa aldea global.

Podemos pensar que hay elementos suficientes para hablar de lo que debe ser la facultad de ingeniería frente a estos nuevos retos. Lógicamente, por el motivo del foro, nuestra primera preocupación debe ser frente a la innovación; por esto me parece importante repasar las definiciones centrales del concepto de innovación para que tengamos claro de qué estamos hablando y cómo debemos orientarnos; en este sentido es importante tener en cuenta definiciones como las que plantea el Manual de Oslo, el cual refleja la política de la OECD, que estudiando los temas de la innovación, mirando la forma cómo han evolucionado y las demandas que se tenían al respecto, en 2005 planteó nuevas definiciones de lo que es innovación y que son los conceptos que estamos manejando ahora. En general, se dice que “la innovación es la introducción de un producto, bien o servicio, de un proceso, de un método de comercialización u organizativo, nuevo o significativamente mejorado en las prácticas externas o internas de la empresa o en la organización del lugar de trabajo”. De allí se deducen otras definiciones, entonces se menciona específicamente la innovación de producto, que ha sido la innovación más tradicional de la que se ha hablado durante décadas y que

hoy se reitera que es una innovación fundamental y se dice que es “la Introducción de un bien o servicio que es nuevo o significativamente mejorado con respecto a sus características o aplicaciones previas. Esto incluye mejoras significativas en especificaciones técnicas, componentes y materiales, software incorporado, facilidad de uso u otras características funcionales”. Tengo algunos ejemplos muy propios de lo que es la innovación de productos en nuestro medio, por fortuna tenemos innovadores, hay cosas que mostrar pero son muy pocas. Se puede citar la microencapsulación de oleorresina de páprika, extraída mediante la tecnología de fluidos supercríticos; es un nuevo producto, ha sido exitoso en el mercado y es una innovación.

Innovación organizacional es la “implementación de un nuevo método organizacional en las prácticas de negocio de la empresa, la organización del lugar del trabajo o las relaciones externas”. Por ejemplo, el programa de desarrollo de proveedores de autopartes, que vienen impulsando las grandes compañías automotrices de Colombia, es una nueva forma de relacionamiento entre empresas, esa es una innovación organizacional sin lugar a duda.

En general podemos decir que es fundamental la creatividad, pero tenemos que llegar a la comercialización, la innovación, y aquí, de una u otra manera estamos cuestionándonos como colombianos; tenemos muchas ideas, yo diría que somos muy creativos, nadie nos tiene que enseñar a ser creativos, y en general es una característica colombiana, pero de su comercialización todavía nos falta mucho.

Hoy la situación es bastante particular, nos han dicho que estamos en crisis, y una de las reacciones comunes que nos encontramos es la de “si sirve algo de lo que hemos venido pensando, diciendo e intentando hacer”. Esta semana, la ANDI muestra que la producción colombiana ha caído de manera significativa; no hay duda de que hay problemas de crecimiento económico en este momento y la pregunta sería entonces ¿vale la pena continuar con el discurso de la innovación?

En este momento me atrevería a decir que si nos vamos a leer el “Manual de Crisis” encontraríamos que debemos ser mucho más proactivos, anticipativos, tenemos que buscar nuevos mercados, tenemos que redefinir lo que hacemos en los negocios, y así por el estilo continua el listado en este manual de crisis, pero cada uno de estos puntos de hacer nuevas cosas, lo que nos está reclamando es innovación, y es coincidente con que, cuando nos enfrentamos a la generación de conocimiento, una de las cosas que queda clara es que un problema, finalmente es un reto.

Al respecto, se adelantó un estudio cuyos resultados se presentaron hace tres o cuatro días, sobre cómo debían actuar las PYMES colombianas en el tema de la innovación para poder ser exitosas en sus exportaciones; estas son el 96% de las empresas colombianas, generan el 40% del empleo y de ellas un porcentaje todavía muy pequeño

tiene capacidad de exportación. Sin embargo, están expuestas a grandes riesgos y sus posibilidades futuras dependen del adecuado posicionamiento y conservación de sus ventajas comparativas en ese mercado. En las PYMES sus actividades de innovación tienen que ver con eso; una de las principales conclusiones es que estas no conocen de las posibilidades de financiación que existen en su entorno para realizar innovación, en otras palabras, la mayoría de estas no saben que existe COLCIENCIAS, FOMI-PYME, ministerios que están financiando actividades de innovación, organizaciones internacionales que en el país también lo están haciendo.

Mirando la situación, se concluye que hemos hecho poco. Ante esto, me he atrevido, desde que conocí este comentario, a compartirlo con todo aquel que lo permita, comentario de un gran investigador colombiano que es el médico Alejandro Jadad, que en una revista que publica el CINTEL, decía en 2007: “sugeriría que el país considerara invertir más recursos en promover la innovación (definida por Esko Aho como la inversión de conocimiento para generar bienestar o dinero) que la investigación (la inversión de dinero para generar conocimiento)”, es decir, enfrentar el dilema de generar conocimiento para publicar o generar conocimiento para producir riqueza e inclinarse por lo último.

Ya se tiene una cantidad razonable de investigadores en algunas ciencias y ha llegado el momento de orientar capacidades hacia las aplicaciones en la industria, la salud, el medio ambiente, etc., pues aún no tenemos la gente educada para la competitividad. En conclusión necesitamos orientar nuestros esfuerzos muy claramente hacia la investigación y la innovación.

¿Investigar en qué?, es un gran interrogante que tenemos en las universidades y en las facultades de ingeniería; definitivamente en estos tiempos hay que establecer prioridades, pues los recursos son muy pocos. Pienso que para definir esos temas hay que tener en cuenta diferentes aspectos relacionados con los intereses personales, a saber: Deben ser apasionantes, atractivos o curiosos, comprometedores, ensoñadores, de futuro, pertinentes, útiles y aplicables.

Tienen que ser temas prioritarios para la institución, la región y el país; en otras palabras en una frase muy conocida, podemos resumirlo en la búsqueda de “solución de los problemas locales a partir del conocimiento universal” y como ejemplo de esa necesidad de definir cuáles son nuestras urgencias es interesante recordar este listado de los 14 grandes retos de la ingeniería en el Siglo XXI, fruto de un estudio tipo DELFI que se hizo con 50 científicos de vasto reconocimiento internacional que concluyo en los siguientes retos: Obtener energía solar a precios competitivos, obtener energía por fusión, desarrollar métodos para secuestrar carbono, manejar el ciclo del nitrógeno, proporcionar acceso al agua limpia, restaura y mejorar la infraestructura urbana, avanzar en la informática para la salud, aplicar ingeniería para obtener mejores

medicinas, hacer ingeniería inversa del cerebro, prevenir el terror nuclear, asegurar el ciberespacio, mejorar la realidad virtual, avanzar en el aprendizaje personalizado y aplicar la ingeniería a las herramientas para los descubrimientos científicos.

Podemos sentirnos identificados con algunos de ellos, no con todos, pues Colombia tiene sus particularidades y si lo miramos desde las regiones nos centramos más todavía, pero son ejercicios importantes que por fortuna Colombia ha venido realizando y existen numerosos estudios de los últimos cuatro ó cinco años que han apuntado a tratar de definir cuáles son las prioridades de desarrollo del conocimiento y de la producción en el país.

He recogido las recomendaciones de la política de C+T+I que ha venido promoviendo COLCIENCIAS; el CONPES, que define el plan de competitividad del país al 2032 y la política de transformación del Ministerio de Comercio e Industria. Podemos decir que según estos documentos, Colombia debería trabajar en cuatro sectores para su desarrollo: energía y materiales, vida, medio ambiente y hábitat y tecnologías.

En energía y materiales se debería fortalecer la capacidad en minería, energía eléctrica y servicios conexos, autopartes, cosmética, biocombustibles y carbón. En vida, el turismo de salud, la agricultura y en ésta, el café. En medio ambiente y hábitat, el desarrollo sostenible y el transporte. En tecnologías, incluir TIC; tercerización de servicios a distancia; textiles-confección, diseño y moda; industria gráfica y logística.

Estos son propósitos y sectores estratégicos que por uno u otro motivo han sido escogidos y habrá que tenerlos en cuenta en la universidad, si queremos ser pertinentes.

Para finalizar, vamos a hablar un poco sobre lo que es la gestión y la organización de esa entrega del conocimiento de la universidad al entorno. Tenemos que hablar en términos de hoy de la comercialización del conocimiento; esto significa que el conocimiento adquiere un carácter que para algunos es chocante y tenemos que partir de brindar buena información, más una buena investigación, en algunos casos mejorarla más; debemos tener una buena relación con el medio, garantizado con una buena información y una buena investigación, tendremos entonces una buena extensión, buen uso del conocimiento, participación de la universidad en la innovación, ¿cómo deberá ser? Para que todo esto funcione tienen que manejarse una serie de conceptos relacionados con propiedad intelectual y emprendimiento, que nos hacen pensar que las personas encargadas de esta comercialización del conocimiento deben ser más que profesores o académicos.

Podemos decir que hoy frente a estas necesidades de la universidad, es necesario gerenciar diferentes asuntos como lo que tiene que ver con los retornos económicos.

Hay que gerenciar también esa difusión rápida del conocimiento; hay que priorizar en la academia; cualificar los currículos, pues no podemos seguir enseñando lo mismo para la nueva sociedad y nos encontramos situaciones como las de algunas universidades que se han instalado en el corredor tecnológico de Malasia, en cuyo caso tuvieron que reorientar todas sus carreras para formar los profesionales que necesitaba el corredor. El desarrollo de la universidad en estos sentidos necesariamente lo tendremos que asociar al desarrollo económico regional, del que la universidad también debe ser participe y en consecuencia gerenciar también esta relación. Además, recordar que ésta una transferencia bidireccional de saberes, pues no podemos olvidar que las empresas nos pueden enseñar mucho y, en consecuencia, tenemos que ser capaces de que ese conocimiento llegue a la universidad.

Un problema muy grande es que también hay que saber gerenciar los riesgos. La universidad está expuesta a muchos; la universidad de hace 20 años era bastante cómoda; los riesgos eran fundamentalmente internos, pero hay problemas frente a la divulgación del conocimiento: cómo somos capaces nosotros de entregar el conocimiento sin ponernos en riesgo o cómo somos capaces de que nos llegue conocimiento y seguir siendo universidad; cómo enfrentar el problema del deterioro de la relación estudiante-tutor, pues éste es un asunto muy puntual pero muy importante. ¿Si nuestros profesores están dedicados a otras cosas, quien atiende a los estudiantes? ¿Y la disminución de la investigación básica? ¿Y la menor atención al currículo? ¿Y las restricciones en los temas de investigación? Si hemos fijado prioridades o podemos investigar en principio en cualquier cosa sin olvidar que la universidad es universal y que cualquier tema puede tener cabida ¿Y la disminución de la dedicación a la docencia?

2. Panel

Participantes:

Mariano Ghisays

Super Brix S.A., Barranquilla

Carlos Enrique Arroyave

Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá

Moderador:

Marco Sanjuan

Universidad del Norte, Barranquilla

¿Cuál debe ser el papel de los investigadores en la relación universidad – empresa – estado?

Mariano Ghisays

Nuestra empresa, Super Brix S.A., dedicada especialmente al tratamiento y procesamiento de cereales, ha tenido diversas experiencias que nos permiten transmitirles algunas opiniones acerca de lo que esta relación ha significado para nosotros y de cómo nos gustaría que fuera.

La empresa ha tenido dos importantes proyectos con la Universidad del Norte. Uno de innovación de producto y el otro de competitividad y de innovación de procesos y de productos, un proyecto mucho más complejo. ¿Qué esperaríamos nosotros de los investigadores? En primer lugar, que estén atentos y conozcan cuáles son las necesidades de nuestro sector empresarial, que estén enfocados en el conocimiento de la realidad existente en el sector industrial, que conozcan sus necesidades, que sean promotores de innovación. Es decir, que no esperen que les lleguen las solicitudes de innovación de la empresa, sino por el contrario, que sean ellos y la universidad los promotores de ese propósito de innovación. Igualmente deberían estar alineados en sus expectativas de honorarios y de costos de los servicios, con la capacidad de pago que tiene la empresa, la capacidad de pago del proyecto y con la capacidad de generar recursos del proyecto. Esto exige que el investigador sea realista y no tase su participación se acuerdo solamente con su formación, con su recuperación de los costos de su doctorado, sino, por el contrario, en lo que realmente va a aportar, que puede ser muchísimo. Lógicamente, debe estar de acuerdo con el resultado final del proyecto en el que se involucra. Recientemente, y espero que esto no pase aquí, leí en un artículo, que, a raíz de la situación de la crisis de las empresas de Estados Unidos, estos proyectos de innovación y de búsqueda en las universidades con el apoyo de las empresas que siempre han tenido en este país, se estaba desviando hacia los asesores y consultores, porque eran más económicos y más baratos que las universidades. Es

este punto al que me refiero: el investigador de la universidad tiene que estar al nivel del mercado y de las capacidades de quien lo requiere.

El investigador tiene que asentarse mucho en las capacidades prácticas que debe tener para lograr soluciones empresariales; debe entender que los tiempos cambiaron, que las investigaciones ya no son de la universidad, ni de los centros tecnológicos, en los que se dedicaba mucho tiempo a hacer proyectos que se quedaban en los anaqueles sin convertirse en propósitos, ni en proyectos comerciales. Esto ha cambiado mucho, y el investigador debe tener muchas habilidades prácticas para convertir una idea en realidad comercial para ayudar a la empresa para que esto se dé.

Carlos Arroyave

Comienzo por recordar algunas de las características de lo que es un investigador. Tenemos claro que un investigador es un profesional de altas calidades, que normalmente es un líder. Podríamos decir que en la interacción con la empresa y con el estado, debe liderar todo lo que se presente en dicho escenario. Por ejemplo, ser líder en la negociación que se establece entre universidad-empresa-estado; pero creo que no es la persona indicada para jugar este papel y que esto hay que reconocerlo, tenerlo en cuenta, tanto por parte del investigador como por parte de las otras personas él es el actor principal en la generación de conocimiento y en este caso de conocimiento útil. Pero esto tampoco es la patente para que sea el actor principal de la negociación. De nuevo, hay elementos que permiten decir que no es la cabeza de una interacción universidad-empresa-estado, que ese investigador necesita una compañía, un equipo, un grupo de personas que jueguen otros papeles. Entre ellos están los directivos, los cuales deben convertirse en negociadores y gerentes de una serie de actividades que surgen con motivo de la interacción con la empresa y con el estado. En general, es un equipo negociador en el que el investigador puede estar presente y que tiene unos intereses muy particulares, con lo cual ya se empieza a tocar el tema del beneficio. El investigador debe ser beneficiario de esta interacción, indudablemente; es el actor principal de la generación del conocimiento. Hay que reconocer ese papel. En consecuencia, el investigador debe ser un gran beneficiario de la relación universidad-empresa-estado, para que se justifique su presencia en esta interacción, en la negociación; pero no es indispensable. Es importante, pero no es el fundamento para que la negociación sea exitosa.

El tipo de beneficio que el investigador puede extraer de esta interacción con la empresa y con el estado puede ser variado. Podemos hablar del prestigio social, que ya es una ganancia importante en una interacción en la que un conocimiento generado por un profesor de la universidad logra tener un impacto económico y a veces social, significativo. Esto da prestigio institucional, pero también prestigio personal y puede ser uno de los motivos por los cuales se busque esta interacción.

Indudablemente, el prestigio económico también es fundamental y por lo delicado del tema, es conveniente tener una reglamentación previa adecuadamente establecida. En otras palabras, estoy hablando de una segunda tarea. La primera es reconocer la importancia de disponer de un equipo de interacción en la relación universidad-empresa-estado, un equipo capaz de negociar; y la segunda, tener un reglamento de incentivos y estímulos para los investigadores que participen en los procesos conducentes a la investigación.

En esta interacción, uno de los elementos de partida es la confianza. Si ésta no existe, la interacción es muy difícil. La confianza debe darse en los diferentes niveles de la interacción, desde la negociación de los beneficios finales hasta la negociación de la propuesta inicial, pasando por la negociación o convencimiento en cada uno de los puntos de avance en ese intermedio entre la propuesta y la explotación final de los resultados. En ese tránsito, el investigador ocupa un papel muy importante, pero tiene que estar participando en los contactos. Allí es donde surge la necesidad de que existan puntos de encuentro, en donde el investigador y su contraparte, la empresa o el estado, se conozcan, y ganen la confianza necesaria para poder trabajar de manera conjunta. Estamos hablando de diferentes posibilidades, de puntos de encuentro: son muy comunes los eventos, las reuniones, los sitios de trabajo compartido, etc. Este aspecto hay que mirarlo como una tercera tarea de la universidad: contribuir a que existan los puntos de encuentro. Si el empresario y el universitario no se encuentran, la confianza va a ser muy escasa. Es decir, no se puede tener una comunicación estéril que no conduce a ningún beneficio, y eso significa, entre otras cosas, que el lado empresarial esté sintonizado con lo que se está dialogando, tanto desde el punto de vista del trabajo hacia la innovación, como desde el punto de vista de la especialidad, que en determinado momento se esté investigando. En ese sentido, la empresa debe adelantar un trabajo claro y orientado específicamente a que sus directivos y sus funcionarios sean interlocutores legítimos en ese dialogo.

Por otro lado, el profesor investigador, en su formación, muy frecuentemente ha estado expuesto a una orientación centrada en la investigación. Esta es una situación un poco desligada del trabajo orientado a la generación de riqueza apoyada en la investigación, y es necesario que se reconozca, tanto personal como institucionalmente, la necesidad de que el investigador entienda, comprenda y se convenza de que su situación, en estas condiciones, es diferente a la que se presenta cuando se investiga para publicar. Es necesario capacitar al investigador en el entendimiento de los retos a los que se enfrenta cuando participa en la integración con la empresa. Este punto toca aspectos, como mencionaba el doctor Ghisays, relacionados con los tiempos: estos son diferentes y nos debemos convencer de que la generación del conocimiento nos impone otros tiempos.

Otro aspecto es el manejo adecuado, guardando la confidencialidad, que merecen los conocimientos que se generan y se utilizan. Son conocimientos que son el objeto de esta interacción: es necesario capacitar adecuadamente al investigador en los temas de la propiedad intelectual. Esta es una quinta tarea relacionada con la capacitación de los investigadores en ciencia y tecnología.

Si la innovación está directamente relacionada con el éxito en los mercados, ¿hasta dónde debe llegar el apoyo de la universidad a dicha innovación?

Carlos Arroyave

Para reflexionar sobre el tema propuesto, podemos remitirnos a esa definición básica de la innovación que siempre exige el éxito en el mercado. Si la reconocemos como condición, fácilmente podemos afirmar que la que puede innovar es la empresa. En otras palabras, podemos decir que la universidad, en el sentido estricto de la palabra, tiene que reconocer que ese no es su papel; pero, por otro lado, tiene que ser fiel al propósito de reconocer cuál es su papel. Tenemos claro que su rol no es el de innovar. Pienso que existen diferentes posibilidades, porque la universidad, con el conocimiento, tiene diversas opciones para contribuir a que se den las innovaciones. En primer lugar, hay una muy obvia que es el de la entrega libre de su conocimiento en diversas situaciones, por políticas institucionales. En otras ocasiones, instituciones han considerado que el conocimiento que producen es libre y algunas lo entregan a la sociedad en cumplimiento de una función que sería una función pública. El otro punto, que ha ido ganando terreno, tiene que ver con la posibilidad de usufructuar el conocimiento mucho más allá del mero prestigio. Este conocimiento se genera en la comunidad y en consecuencia se debe buscar la manera de explotarlo. Esta explotación es de diferentes tipos. Por ejemplo, se puede aprovechar ese conocimiento para contribuir a la formación de sus estudiantes y profesores; hablando específicamente del tema del emprendimiento con el conocimiento que se genera en la universidad se puede hacer incubación de empresas. Existe la posibilidad de que, con ese conocimiento, se generen empresas universitarias o, hablando de la participación en sociedades muy convencionales, se puede aprovechar este conocimiento para generar y fortalecer empresa.

La decisión sobre el camino a seguir, depende del interés que tiene la institución en un determinado momento y de cuál es su capacidad. Si no se tiene capacidad en el manejo de uno de estos frentes, lo recomendable es no aventurarse. En ese sentido, es importante que cada institución universitaria colombiana se plantee la pregunta de hasta dónde llegar en el manejo del conocimiento que es capaz de generar. Pienso que, en la situación actual, la salida ideal puede ser la del simple licenciamiento. Digo esto porque es la situación en la que menos esfuerzo requiere la institución, luego

de generar el conocimiento; no tiene que embarcarse en aventuras empresariales de ningún tipo, no sabe hacer empresa y es preferible evitar complicaciones y riesgos. El único producto que sigue preocupando a la universidad es el conocimiento, y no es producto de una eventual empresa que esté tratando de crear.

La aspiración es que la innovación tenga un licenciamiento a largo plazo, para que la institución reciba dividendos de ese esfuerzo intelectual que desarrolló. Esto es factible y, en ocasiones, por incapacidad es necesario reducirse a los beneficios de largo plazo. Para poder manejar con propiedad estas situaciones, se necesita una capacitación clara del personal que se debe especializar en el manejo de la transferencia de los resultados de la investigación. En general, al hablar de una cultura de la innovación que cubra a los diferentes actores en la interacción universidad-empresa-estado, se debe enfatizar mucho más en la universidad, por reconocer que allí se tienen que vivir por momentos la creatividad, la investigación y la gestión. Recordemos que nuestros sistemas, sin lugar a duda, han sido enemigos de la creatividad. Tenemos que cambiar esa situación: la cultura de la investigación basada en la creatividad y orientada a la gestión. Hay que reconocer con claridad, que debemos cultivar la creatividad, la investigación y la gestión de la innovación. En otras palabras, integrar la innovación a los tres aspectos misionales de la institución universitaria, o convertirla en un estímulo integral como componente fundamental de la misión de la universidad.

Mariano Ghisays

En la relación que hemos tenido con la universidad en los proyectos que hemos emprendido y en general en todos los aspectos, hemos buscado que nos brinde aquello de lo que carecemos, aquello en lo que somos débiles, aquello que no tenemos. Si no tenemos investigadores en el área de resistencia de materiales y termometría, o carecemos de suficiente fortaleza, vamos a buscar ayuda en la universidad. No esperamos que la universidad nos vaya a dar lo que ya tenemos. En nuestros proyectos comunes esperamos tener un aprendizaje en gestión tecnológica en proyectos de innovación: que esta relación con la universidad nos brinde no solamente el conocimiento específico en el proyecto, sino nos de la herramienta para que la empresa pueda, por sus propios medios, seguir haciendo proyectos y trabajos de innovación. Es decir, aprender en gestión tecnológica en la innovación, a través de la relación con la universidad.

Como se pregunta hasta dónde debe llegar la universidad, respondo diciendo que estoy totalmente de acuerdo con la respuesta del doctor Arroyave: hasta el final, hasta que el producto esté en el mercado. Hay que asegurarse de eso cuando se determina el alcance del proyecto. Éste tiene que ir mucho más allá de llegar a un prototipo o de llegar a una implementación. Ir más allá y hacer seguimientos posteriores, evaluaciones posteriores, para asegurarse que esa relación con la universidad en un proyecto de

innovación dejó huellas en la empresa, una marca indeleble en la empresa, para que esta empresa sea una promotora entre las demás y para que piense que esta relación fue buena y exitosa y le condujo a obtener beneficios o riquezas en el proceso. Considero que en la relación los procesos deben ser cada vez más integrales, menos llevados a proyectos o mini proyectos; hay que darle a la empresa el sustento de lo que no tiene, para que esa relación culmine en algo exitoso.

Marco Sanjuán

Como moderador, me tomo la libertad de interpretar lo dicho, y percibo dos apreciaciones diferentes. Una, la que interpreta el ingeniero Carlos Arroyave, que es que hay un conocimiento que se está desarrollando en la universidad y nosotros debemos llegar, como universidad, hasta entregarlo para que se continúe desarrollando, en alguna modalidad en una empresa encubada. Pero lo percibo de alguna manera como un trabajo posterior al desarrollo del conocimiento. Por el otro lado, en la interpretación del doctor Mariano, el acompañamiento debe llegar más allá del desarrollo del prototipo. Observando las diferencias, apreciamos que estamos hablando de dos modelos de generación de conocimiento diferentes. Yo no puedo licenciar lo que no he desarrollado, y de una u otra manera para desarrollarlo necesito recursos pero, ¿dónde están estos recursos? Ahora bien, si parto de los recursos que ya tenía y, a partir de ellos desarrollo conocimiento, el modelo de licenciamiento, incubación, o asociación con una empresa tradicional es perfectamente viable. Pero en un contexto en el que hay limitaciones de recursos, específicamente humanos y de dinero, para desarrollar conocimiento, la aproximación con el modelo de trabajo conjunto con la empresa implica un compromiso de poder acompañarla.

¿Cuáles considera que son las ventajas y desventajas de las patentes?

Mariano Ghisays

El tema de las patentes es un tema que siempre me ha preocupado y me he empeñado en conocer para encontrar sus ventajas y desventajas, para nuestra propia experiencia. Por lo tanto, lo que voy a decir está basado en lo que hemos encontrado después de tantos años de tratar este asunto.

En primer lugar, quiero decir que me siento muy orgulloso de la patente que obtuvo mi padre, en el año 1940. Fue una de las primeras patentes en el área de metalmecánica. Me siento muy orgulloso de que mi padre obtuviera una patente en esos años de ingeniería incipiente. Luego, en los años 1963, 1965, 1971, obtuvimos tres patentes en el área de maquinaria agroindustrial y dos más de lo que llamamos modelos de utilidad. Por esta razón, me siento orgulloso del pasado; pero no puedo decir lo mismo del presente. A partir de allí hemos hecho innovaciones que han mantenido

la empresa a flote, han sido el salvavidas que ha tenido esta empresa metalmecánica fabricante de bienes de capital, que se salvó de la hecatombe en la que estas empresas desaparecieron en su gran mayoría. Nos mantuvimos a flote, gracias al salvavidas que fue el camino de la innovación y el de las exportaciones: haber sido una empresa con vocación exportadora durante los últimos 30 años. Pero, ¿por qué no hemos patentado últimamente, si hemos tenido los productos e incluso la ayuda de la universidad? Voy a explicar por qué no se patentaron:

1. Las patentes tienen un proceso largo y dispendioso; no es fácil patentar, así podemos contar con la ayuda de la universidad.
2. El usufructo de la patente es limitado y restringido. Si creamos la patente en Colombia, contamos con la protección de Colombia y luego la podemos extender al Grupo Andino, con no sé cuántas dificultades. Pero, en nuestro caso, los principales competidores se encuentran en Brasil, Tailandia, Taiwán, China e India. Por consiguiente, ¿para qué necesitamos protegernos en estos países? Todo lo contrario, no necesitamos exportar nuestros productos innovados para que no los plagien.

El plazo inicial de la explotación, según la norma, es de un año, a partir del momento del registro. Para muchos productos de largo periodo de fabricación y desarrollo, éste es un periodo corto. Para desarrollar una maquinaria, para implementar el proceso de fabricación de una máquina, conseguir proveedores, desarrollo de proveedores, planillas, modelos, etc., un año es muy corto. Si se registró la patente, y al año no está el producto en el mercado, se perdió todo el tiempo. Pero, si nos anticipamos, como en nuestro caso, y lo vamos a patentar, resulta que ya está el producto al mercado y no funciona: se perdió la opción.

Viene después la protección de 10 años. Para muchos productos de alto consumo que cambian con facilidad, como los productos electrónicos, una protección de 10 años por ejemplo, para un celular es una exageración; pero, para una maquinaria industrial no es nada. La vida útil, después de que se desarrolla una maquina o para que vuelva a ser innovada, está más allá de 10 años. Hoy en día estamos utilizando maquinaria idéntica a la que existía hace 40 años, y no solo en Colombia. En Alemania, Japón, en todo el mundo, utilizan maquinaria industrial idéntica a la de hace 40 años: no ha existido ninguna evolución. Más aún, en el caso de nuestra maquina más exitosa, la “Mesa de Reparación Densimétrica”, su primera patente fue en el año de 1893. Si observamos esta primera patente, el sistema básico permanece. Lo que se ha cambiado son sistemas complementarios: el concepto sigue siendo el mismo. Por todas estas reflexiones, para nosotros 10 años es muy poco tiempo.

3. Todas las patentes tienen el mismo valor de registro y preparación, pero no todas tienen el mismo valor comercial. Por lo tanto, las patentes no están relacionadas con el valor del beneficio que pueden producir. Lo mismo le cuesta a una empresa farmacéutica patentar un producto en el que invierten 10.000 millones de dólares y produce como utilidad 100.000 millones de dólares, que a alguien que invirtió

1.000 dólares y va a generar una utilidad de 2.000 dólares. Las patentes no están vinculadas al valor del comercio mundial.

4. Las patentes tampoco tienen en cuenta el tamaño de la empresa. A una empresa pequeña le cuesta mucho hacer una patente. A una empresa grande hacer mil patentes al año, eventualmente, no le representa mucho. No se tiene en cuenta el valor de la explotación comercial. Es decir, si la patente dijera que el valor potencial de explotación tiene cierto valor, yo debería tasar el monto de la patente en el valor de utilidad que puede generar, como un impuesto de renta. Pero hoy en día no existe. Puede que la patente ni siquiera genere el costo inicial. En este caso, hay que pensar si la patente vale por la imagen o por el ego de la empresa.
5. Por último, pienso que la forma y la política actual de patentes en el mundo son parte del mantenimiento de nuestro subdesarrollo. Las patentes nos ayudan a mantenernos en el subdesarrollo. Podríamos calcular cuánto le generan a Colombia las patentes que ha registrado, y cuánto tenemos que pagar por las patentes que utilizamos ¿Va a cambiar en los próximos 20 años? ¿Van a mejorar las condiciones para Colombia, teniendo en cuenta todo el esfuerzo económico que hacen las universidades, COLCIENCIAS y el resto del país?

No estoy de acuerdo en seguir insistiendo en que tenemos que registrar patentes porque es una manera de medir el índice de innovación tecnológica, por el número de patentes, porque no lo vamos a lograr. Tampoco estoy de acuerdo con el sistema que tenemos hoy en COLCIENCIAS, donde la mayoría de los aportes se dan por proyectos: los recursos van directamente a quien sabe hacer proyectos y no a quienes los necesitan para generar desarrollo. Se considera que invertir en “buenos proyectos” es la mejor forma de invertir el dinero; pero no es la mejor forma de generar desarrollo, ni de reducir la brecha entre los más y los menos desarrollados.

Creo que el sistema de patentes nos mantiene en el subdesarrollo porque es la fórmula con que los países desarrollados, que saben hacer patentes, nos van a mantener pagando los usos de las patentes. Creo personalmente que se debería hacer un gran debate sobre este asunto. Estoy seguro de que si patenta lo que hacemos será por el reconocimiento de la empresa por tener una patente y no por los beneficios que nos pueda brindar.

Carlos Arroyave

Los comentarios del doctor Ghisays son valiosos por estar fundamentados en la vivencia; pero también es bueno enfatizar otros aspectos. Me parece que una cosa es la filosofía de los instrumentos, otra los instrumentos construidos y otra sus efectos. Obviamente, esto hace que en todo momento, sean sujetos de revisión. Pero hay que revisar el principio que rige el tema de las patentes. Tengamos presente que lo que se procura con esta herramienta, es el establecimiento explícito de un acuerdo entre

el que inventa y la sociedad. El estado sirve como garante de ese compromiso, de manera que la sociedad reconozca el conocimiento que se ha generado y el inventor tenga las garantías de que puede explotar de manera restringida, para su beneficio, lo que ha generado.

Pienso que el concepto es bastante interesante porque trae beneficios al inventor. Puede explotar económicamente lo que ha creado, lo que ha inventado. También trae beneficios a la sociedad, en la medida en que puede compartir ese nuevo conocimiento que el inventor ha generado. La dificultad está en los términos y en las condiciones de manejo de ese conocimiento por parte de uno y de otro. Lógicamente, surgen muchas opciones que conducen a que los abogados tengan mucho trabajo sobre estos temas. La situación actual demuestra que hay cosas positivas; estamos hablando, *grosso modo*, de que hoy existen en el mundo 60 millones de patentes, de las cuales 5 millones son de uso restringido. Es decir, están cumpliendo las condiciones de los inventores; los otros 55 millones son de uso libre. Si tenemos en cuenta los comentarios del doctor Ghisays, en su empresa hay patentes de otros inventores de 1940, 1963, 1965, 1971. Otras empresas tienen en su haber los inventos de otros inventores y eso es importante, conveniente, saludable. Por otro lado, es claro que hay limitaciones en el avance del conocimiento cuando se patenta, porque el inventor tiene un alto riesgo por el mal uso de su invento. El mal uso de un invento es una anomalía que se presenta, pero no invalida el instrumento. Reconozco que, como cualquier otro instrumento, puede necesitar ajustes y ésa sería la pretensión.

Por otra parte, el reconocimiento es importante. Para un inventor resulta importante que su nombre aparezca en la generación de un conocimiento útil. Esta importancia se debería traducir en un reconocimiento económico. De nuevo, surge el tema del beneficio monetario para quien genera el conocimiento. En este sentido, lo relaciono con un comentario del doctor Ghisays. Considero que a quien genera el conocimiento se le debe dar el reconocimiento debido y no nos debería extrañar, ni preocupar, que un investigador obtenga recursos económicos importantes. Por el contrario, debería ser una manera de estimular este tipo de trabajo, que es fundamental.

Hay que reconocer que el conocimiento útil se torna mercancía y por esto está sometido a las leyes del comercio, y, como en cualquier caso de comercio, se presentan anomalías, a veces significativas, donde se presenta la relación entre metrópolis y periferia. Hay que recordar las posiciones que han asumido algunos países con base en sus intereses, cambiantes en el tiempo, de forma tal que en, determinadas épocas, han desconocido el concepto de la propiedad intelectual. Pero cuando tienen por qué reclamar han cambiado su posición y su modo de manejar el asunto.

En lo relacionado con los impuestos, para mí no es comprensible que me estén castigando por generar un conocimiento útil, pues pierde cualquier sentido. Me parece

que es una mirada preocupante. Por el contrario, lo que deberíamos buscar es que exista un instrumento, que puede ser la patente con la mejoras que requiera, que efectivamente tenga un reconocimiento lo más generoso posible de aquel que es capaz de inventar y de hacer un aporte al conocimiento y al desarrollo de la humanidad.

¿Qué recomendaciones harían a la universidad, a la empresa o al Estado para consolidar unas políticas de propiedad intelectual útiles, que permitan el beneficio para todos?

Carlos Arroyave

En primer lugar, me pregunto si se justifica que nos preocupemos tanto por proteger si no tenemos qué proteger. ¿No será mucho más importante orientar todos estos esfuerzos a lograr tener algo que proteger? Uno puede pensar que las dos cuestiones van de la mano, pero me parece que no podemos ser desmedidos. En mi opinión, desde el punto de vista práctico y creo que desde el punto de vista ingenieril, vale más la pena hacer esfuerzos por tener qué proteger y luego preocuparnos más sobre cómo protegerlo. La preocupación sobre el desarrollo del conocimiento hay que complementarla con una preocupación por la utilización de ese conocimiento. Esto implica trabajar mucho más por tener redes, porque esas PYMES realmente formen y participen de los clústeres¹; porque las grandes empresas sean los verdaderos tractores del desarrollo de los sectores. Después ya nos preocuparemos por la protección.

En segundo lugar, la propiedad. Cuando entramos en el terreno de la propiedad intelectual y en el asunto de la propiedad industrial estamos subrayando esa primera palabra: la propiedad. Eso implica unas decisiones: ¿es propiedad de todos o es propiedad privada? En nuestro país nos hemos decidido por una propiedad privada que implica un manejo honrado de esa propiedad. Es decir, tenemos unos conceptos éticos que debemos reforzar, cultivar y cuidar. Ello hace parte de la educación integral que debemos brindar a todas las personas, desde el momento en que nacen, y, en consecuencia, para mí es necesario que universidad, empresa y estado reconozcan que en la educación de todos sus ciudadanos, desde que comienzan en el jardín de infancia, se tiene que estar refrendando permanentemente la importancia de la honradez y el respeto de la propiedad del otro. Eso incluye el respeto en el manejo de la propiedad intelectual. De esa manera, estaríamos estimulando mucho más a los inventores y a los usuarios de ese potencial conocimiento.

¹ En el mundo industrial, clúster es una concentración de empresas, instituciones y demás agentes, relacionados entre sí por un mercado o producto, en una zona geográfica relativamente definida, de modo de conformar en sí misma un polo de conocimiento especializado con ventajas competitivas. Consultado en [http://es.wikipedia.org/wiki/Cluster_\(industria\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Cluster_(industria))

En tercer lugar, en relación con algo que mencionaba el doctor Ghisays, estoy completamente de acuerdo en que las reglas tienen que ser muy claras y que deben ser lo más universales posibles, para que podamos movernos con mayor facilidad, con mayor agilidad. Tienen que ser unas reglas únicas y, en este sentido, algunos ya han pretendido que sea así. De manera, que por ejemplo, los estatutos de propiedad intelectual de nuestras universidades sean uno. Por eso, el Ministerio de Educación, con el apoyo de la Asociación Colombiana de Universidades –ASCUN–, hace más o menos un año estuvo trabajando un proyecto en este sentido. En mi opinión no tuvo éxito, precisamente por una característica nuestra: los celos entre las instituciones, que no permiten que uno se acomode a un estatuto de propiedad intelectual que le crearon afuera. Pero era un estatuto intelectual orientado a que todas las instituciones universitarias tengan unas condiciones semejantes cuando se enfrentan a los empresarios, lo cual inevitablemente facilitaría mucho esa interacción, porque cada empresario no tendría que estar pensando de modo diferente si se sienta a conversar con una universidad u otra. La conversación sería en los mismos términos. Las empresas también han seguido este camino y, al menos algunas grandes empresas que se atreven a hablar en estos términos, han optado por definir condiciones de negociación diferentes. Lógicamente, es mucho más entendible. Abogaría porque las universidades, las instituciones de educación superior, continuáramos luchando para que exista un uso único de nuestros criterios de propiedad intelectual, para facilitar esa interlocución. Si estamos convencidos de que el vínculo entre universidad, empresa y Estado vale la pena, ese sería un gran aporte de las instituciones educativas.

Mariano Ghisays

Mis recomendaciones, en lo que se refiere a la universidad, ya las había manifestado, y ahora las ratifica el ingeniero Arroyave. Creo que tener claras las reglas de juego en todo esto, es muy importante. De la misma manera, tener una oferta más accesible, trabajar más en un banco de ofertas y posibilidades de todas las universidades. Uno no encuentra necesariamente en la universidad más próxima la solución a la necesidad. A lo mejor, la respuesta a la necesidad está en una universidad del sur del país o en el centro. Por eso el banco de ofertas me parece una recomendación muy útil para la universidad. En Medellín tenemos una institución, Tecnnova, a la que presentamos nuestras necesidades y ellos las circulan entre las universidades. Así encontramos la mejor oferta de calidad-precio. Creo que hay que trabajar, en lo que a la universidad se refiere, para que todo funcione exitosamente y con beneficios para todos.

Sería muy conveniente conocer el costo de las horas de trabajo de un profesor de la universidad, de la misma manera que se conoce el costo de una hora de servicio de otro profesional. Creo que si difundimos la información y agilizamos más los servicios y relacionamos calidad con precio, va a ser mucho más fácil para todos. Si quiero hacer una patente, voy a necesitar los servicios de la universidad; por lo tanto debo conocer cuánto me cuesta.

Por supuesto, la empresa tiene que ser más abierta en la búsqueda de estos apoyos. Creo que todavía seguimos siendo muy cerrados, seguimos siendo temerosos. Todavía hay empresarios que ven en la universidad pública unos tirapiedras; de modo que no van a recurrir a una universidad pública porque la tienen asociada estos temas, y no a la investigación. Tenemos que cambiar, y hay todavía muchos empresarios que siguen cerrados al cambio. Pero también es trabajo de la universidad venderse mejor, llegar más a los gremios, participar más. Los gremios tienen comités de innovación, comités de desarrollo. Vayan allí, siéntense con los empresarios. Ese es el primer contacto, el más importante y que nosotros estemos dispuestos a escucharlos.

Creo que uno de las formas más grandes de desestimulo, en cuanto a la protección de la propiedad intelectual, es el papel del Estado. En Colombia no hay protección, sí hay registro de la propiedad intelectual; pero yo no creo que haya protección. ¿Han asistido a un pleito de propiedad intelectual? ¿Han tenido que ir a los jueces a defender la propiedad intelectual? ¿Saben cuánto demora un pleito? ¿Saben el desgaste tan grande y costoso que es defender la propiedad intelectual? ¿Cuál es la razón? El sistema judicial, de Colombia; porque no tenemos en el sistema judicial el concepto para la defensa de la propiedad intelectual. Tenemos la ley y tenemos el registro y podemos registrar la patente; pero vaya y defiéndala. Es de lo más complicado que existe.

Segundo Foro

Tuvo lugar el día 12 de junio de 2009, en el Aula Magna “Manuel José Sierra” de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín. La conferencia estuvo a cargo de Luis Ovidio Galvis Caro, Socio Fundador Biosgeos Research Corporation de Medellín y en el Panel participaron Luis Carlos Gómez Florez, Director de Investigaciones y Extensión de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas de la Universidad Industrial de Santander; Jorge Alberto Jaramillo, Coordinador del Programa de Gestión Tecnológica, Parque del Emprendimiento de la Universidad de Antioquia y Edgar Botero García, Coordinador del Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana.

I. Panel

Participantes:

Luis Carlos Gómez Florez
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Jorge Alberto Jaramillo
Universidad de Antioquia, Medellín.

Luis Ovidio Galvis Caro
Biosgeos Research Corporation, Medellín.

Moderador:

Edgar Botero García
Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.

¿Cuáles serían las áreas prioritarias de ciencia y tecnología, necesarias para garantizar a mediano plazo el desarrollo nacional y la inserción de Colombia en el mapa científico mundial?

Jorge Jaramillo

No hay una respuesta única o una sola manera de ver las cosas. Pero podríamos decir que hay algunos asuntos que debemos pensar desde las universidades y desde las facultades de ingeniería, en particular que tienen que ver con la pregunta. Primero, saber qué universidad tenemos: una universidad clásica, una universidad investigadora, una universidad empresarial o es una universidad emprendedora. Porque a partir de ahí empieza uno a direccionar, a enfocar los esfuerzos, a focalizar su actuación, a consolidar sus fortalezas, a tratar de identificar las capacidades instaladas y a ver de qué manera se puede proyectar.

La universidad clásica	“Tradicional”. Es la universidad que ha existido en nuestro medio, en nuestra región, en nuestro país. Nosotros venimos de unas universidades “tradicionales”, que tenían como objetivo formar profesionales. Lo lamentable era que se estaban formando profesionales para el empleo de la era industrial, y se les olvidó que se había acabado la era industrial y que ahora estamos en la era del conocimiento.
La universidad investigadora	Una universidad que apuesta por la generación de nuevo conocimiento, pero que establece como meta la posibilidad de generar esas capacidades. Su interlocutor son los pares internacionales, porque la publicación internacional en revistas indexadas se convierte en un fin, es decir, el conocimiento para otros. Es muy importante poder compararnos y comunicarnos con el mundo; pero la investigación no es un fin en sí mismo, la investigación es un medio, una herramienta para poder llegar a esa sociedad del sector productivo.

La universidad empresarial	Frente a las dificultades de la empresa de no encontrar esas competencias o ese conocimiento y esas actitudes, la universidad poco está haciendo y estoy hablando desde las facultades de ingeniería en particular.
La universidad emprendedora	Tiene una connotación distinta. Es aquella que quiere participar en el desarrollo del territorio, de la región y del país. Eso implica que no basta con formar profesionales, que no basta con generar conocimiento, sino que hay que transferir el conocimiento.

La pregunta concreta es en qué áreas trabajar. Yo diría que, desde la ingeniería, tenemos que pensar en cuáles son nuestras capacidades y tratar de diferenciar una de la otra, porque casi todos recurrimos a las mismas áreas y todos queremos ser buenos en todo, y así no vamos hacer buenos en nada. No se trata solamente de mirar qué capacidades tenemos. Hay que ver en quién están apalancadas: en las personas, en la universidad, en los investigadores...

Hay temas que son innegables como el tema de la energía, que es un tema trasversal, una área que permea casi todas las actividades de nuestra vida. Por lo tanto, debe ser tema de discusión buscar esa focalización, fortalecer los distintos campos para tratar de llegar a la población en general, a todo el territorio, a través de unas buenas capacidades de la energía. Porque la energía no solamente se convierte en producto, sino que en ella también hay conocimiento que se puede transferir fuera de este territorio. El tema de la energía nos permitiría pensar no solamente en el mercado local o nacional, sino también en el internacional.

Otra área cuya importancia es innegable que permea otros sectores, es el de las TIC. Pero igualmente se puede afirmar de la biotecnología, donde la ingeniería juega un papel muy importante. Esto nos muestra que existen muchas áreas y que debemos concentrarnos en unas pocas y diferenciarnos entre las facultades de ingeniería en temas específicos. Ahora mismo nos están invitando a trabajar en alianza con grupos de investigación de unas universidades en un área específica. Ésta es una manera en la que podemos llegar a ser de categoría mundial. De lo contrario, si cada uno quiere repetir lo que hace el otro, vamos a saber lo mismo y vamos a estar en una competencia que no nos llevará a ninguna parte.

Luis Carlos Gómez

La pregunta que se nos hace o que nos podemos hacer al respecto, trasciende la universidad y las facultades. Es una cuestión que tiene que ver con la sociedad, con el estado y con las empresas. Es una pregunta que nos tenemos que hacer en conjunto.

Debemos cambiar el enfoque de nuestra investigación. Hemos de acercarnos más a enfoques que se han desarrollado en otras ciencias como las sociales, en donde es

muy fácil hablar de historia, de estudio de casos, de análisis comparativos. En nuestra área de ingeniería y en la de nuestros vecinos que son los de ciencias, estamos más acostumbrados a otros tipos de enfoques de investigación. Podríamos conseguir un enfoque de investigación-acción, en donde desarrollamos un cierto acontecimiento en una empresa o en una problemática, nos vamos encontrando con problemas que nos van generando necesidades de conocimientos, que van haciendo a la medida que aportamos al problema sin que al principio sepamos exactamente para dónde vamos, ni siquiera en términos de los temas que se van a abordar. Esto es más cercano a una estructura flexible, que facilitaría una investigación más ágil y más cercana a las necesidades del sector productivo.

Otro aspecto que se desprende del anterior es que cuando abordamos los temas de investigación, pensamos en áreas de conocimiento o en disciplinas. De hecho, si uno se pone a analizar los nombres y los objetivos de muchos grupos de investigación, de los que están registrados en la plataforma de Colciencias, se encuentra que es muy frecuente la presencia de un determinado conocimiento. Pienso que hay que pensar más en problemas de la sociedad, del sector productivo. Quizás los investigadores y las facultades tenemos que empezar a desencadenar acciones, procesar y hacer gestión en esa identificación de los problemas: problemas como fuente o desencadenante de los procesos de investigación. Ese es un punto bien importante y además coincide, en buena parte, con la visión de la ingeniería. Recordemos los métodos de ingeniería que abordamos en nuestros primeros conocimientos en los libros de introducción en ingeniería. Es fundamental analizar un problema y mirar qué alternativas existen, qué soluciones y restricciones, fijar unos criterios para tomar una decisión, seleccionar unas alternativas, etc.

Finalmente, sobre la las áreas específicas, digamos que, en el ejercicio que ha hecho la Universidad Industrial de Santander para identificar unas áreas, coincidimos con el profesor Jorge Jaramillo: los temas de energía, de biotecnología y de TIC. La Universidad Industrial de Santander ha definido una cuarta, que es el área de materiales. Con respecto a la discusión de si nosotros tenemos la capacidad para hacerlo, pienso que la universidad ha hecho un ejercicio en el que se ha tenido en cuenta que tenemos esas capacidades.

Hemos tenido en cuenta las necesidades y las tendencias en el mundo, cuáles son los principales aspectos que nos van a preocupar en el futuro. Teniendo en cuenta todo, hemos definido esas áreas. Es una pregunta que tenemos que abordar las universidades, el gobierno y el sector productivo para que tengamos los recursos necesarios.

Luis Ovidio Galvis

La investigación no puede ser lo que a un profesor se le ocurra. Antes era lo que a un profesor se le ocurría y publicaba el resultado de su trabajo. Hoy tiene que ser un

proceso guiado desde el área de investigación de la universidad y afianzarse como un proceso de gerencia.

Un área de importancia en el mundo de hoy es la energía. Podemos ser de clase mundial y tener productos para solucionar los problemas energéticos locales, pero también podemos vender productos de energía de clase mundial. En energía lo que hay que hacer es gestión. Hay que construir los árboles tecnológicos y los mapas de conocimiento del tema de la energía. Un profesor puede hacer una investigación alrededor del tema de la falencia que vio en un producto de una empresa de clase mundial.

Si entran en la página web de la empresa *Cisco*, encontrarán el árbol tecnológico y verán en qué negocios están. *Google* no es solamente un motor de búsqueda. El motor de búsqueda es un negocio, pero ellos están en muchos más negocios, además del motor de búsqueda. La idea es que hay que identificar los mapas de negocios, y eso lo enseñan en gestión de tecnología.

¿La universidad y específicamente las facultades de ingeniería, estamos poniendo a disposición de la sociedad y de las empresas, la capacidad y el conocimiento en generado?

Jorge Jaramillo

Cada universidad debe definir cuál es su vocación de formar profesionales idóneos. Ahora bien, una universidad que no genere conocimiento nuevo, tendrá que traer el conocimiento de fuera. Pero eso no quiere decir que todas tengan que investigar o que todas deban que transferir conocimiento: cada una va definiendo su vocación. Se plantean las distintas alternativas.

Aquí tiene que haber una iniciativa empujada por nosotros, por las universidades y por las empresas, pero que debe venir desde el estado, desde los entes del gobierno quienes han de dar el primer paso para que, a través de una política pública, se fortalezca el tema de educación en todos los niveles, incluyendo el tema de ciencia y tecnología. Si no le apostamos a esto, si este país no le apuesta en serio, a la educación con recursos, difícilmente vamos a salir del círculo vicioso en que estamos, sobre todo porque nosotros normalmente no tenemos política pública de largo plazo. Tenemos planes de desarrollo, tenemos proyectos o programas que se agotan en una administración de una alcaldía, de un gobierno departamental o de un presidente y que casi todos son de corto plazo. Yo les pregunto, ¿nosotros tenemos política industrial? No hay una política industrial. Ni en el país, ni en la región, ni en la ciudad ni en ninguna parte. ¿Hay una focalización para tratar de orientar nuestros escasos recursos, a algunas áreas o sectores específicos? ¡No la hay! Cuando se le pide a la universidad que investigue en algunas áreas, entonces en la universidad, y sobre todo en la pública, se

invoca una mala interpretación del concepto de autonomía universitaria y de libertad de cátedra. La libertad de cátedra y la autonomía universitaria no son para hacer lo que nosotros queremos.

Nosotros tenemos una responsabilidad social con la sociedad de nuestro entorno. Tenemos que ver más allá de los problemas, porque la universidad no solamente debe apostarle a resolver problemas, sino a ser visionaria, a mirar para dónde debe orientar a la sociedad, hacia dónde puede conducir esta sociedad ¿No estamos en la universidad los que se supone que tenemos que pensar? Los empresarios no piensan, los empresarios hacen. No estoy diciendo que los empresarios no piensen, sino que su principal tarea es hacer. Nuestra tarea como universidad, es importante, sobre todo cuando ya venimos haciendo un trabajo sistemático y deliberado para vincular la universidad con la empresa.

Luis Carlos Gómez

La semana pasada, el Ministerio de Educación Nacional organizó un Foro Internacional de Investigación. Algo que noté y me pareció muy importante, fue la diversidad. Algunas de las personas con las que interactuamos, cuando llegaron al evento pensaban que el señor de Alemania o el de Inglaterra, o el de Canadá iban a dar la fórmula mágica y única. Cuando nos pusimos a hacer un balance, encontramos que hay una gran diversidad y también y una gran voluntad. La universidad debe replantearse constantemente el currículo, así sea una universidad clásica que no investiga, porque de todas maneras debe abordar los cuestionamientos sobre la estructura de las disciplinas y sobre qué es lo que se tiene que buscar.

Por otro lado, ¿cómo hacemos para que el profesor universitario sea más arriesgado y para que tenga la capacidad de buscar la empresa? El profesor debe mostrarle lo que hace, convencerlos de que inviertan, saber que les va a entregar un producto y saber que ese producto tiene mercado ¿Cómo hacemos para que un profesor universitario salga de este paraíso que es la universidad? Paraíso donde se dicta la clase, se llega temprano, se sale temprano y se está relativamente bien pagado ¿Cómo hacer para que este profesor se convierta en un generador de ideas, conocimiento de industrias y de empresas? Porque hasta ahora no vemos profesores empresarios. Yo diría que quizás no los hemos encontrado, quizás hay que buscarlos. Eso también es importante, porque tal vez nos empeñamos en desarrollar una capacidad que creemos tener en algún grado, y resulta que debemos mirar a quien la tiene y traerlo.

Aprender a investigar o a innovar es algo que todavía no se ha resuelto. ¿Cómo se aprende a investigar, cómo se aprende a innovar? Una opción: hay muchas teorías y muchos métodos, pero es incuestionable, que el que se hace al lado de alguien que es innovador o investigador también aprende a hacerlo.

Las universidades deben replantear muchas de sus estrategias, incluidos los calendarios y los currículos para facilitar los acercamientos a la empresa. Los grupos de investigación, en buena parte, se apoyan en el surgimiento de los estudiantes con diferente grado de maduración, lo cual implica un gran esfuerzo por parte del profesor que no siempre es reconocido. Hay que empezar a plantearse cuestionamientos de ese tipo. ¿Cuánto esfuerzo puede llevarle a un profesor organizar debidamente la interacción con las empresas, con un enfoque curricular claro?

Luis Ovidio Galvis

Con respecto a la pregunta, les informo que hice un sondeo con varios gerentes de investigación y desarrollo. Hay dos puntos que ellos contestaban automáticamente. El primero es el bajo nivel de conocimiento en la empresa y la baja capacidad para formar proyectos científicos y de investigación en la empresa. El segundo se refiere al tema de las competencias de los profesores para investigar. Pero ellos quieren que los profesores de ingeniería tengan experiencia práctica, que no sean totalmente teóricos. No sé cómo lo verán ustedes. Yo en principio estoy de acuerdo, pero este asunto merecería un debate. Llegamos a la conclusión que más de un 50% de los profesores, en cuestiones aplicadas de la ingeniería, nunca habían ido a la industria. Ellos me propusieron que los profesores vayan a hacer pasantías en las empresas. Habría que hacer innovación en gestión, para que los profesores se puedan ir a hacer pasantías en la empresa. Además, hay que cambiar los métodos de enseñanza para que estén más orientados hacia la creatividad y la innovación.

Quiero hacer una reflexión sobre el tema de ética. No sé si nosotros estamos ayudando para que los ingenieros sepan lo que ellos tienen que aportar al desarrollo. Pienso que en el tema de ética tenemos que hacer que la gente entienda que este es un problema de desarrollo colectivo. ¿Cómo hacemos para que los empresarios entiendan que el conocimiento tiene un valor y que no se hace que un profesor universitario vaya a contar su idea para que la exploten, sin que el profesor reciba absolutamente nada? ¿Se puede pretender que el profesor está muy contento porque el empresario ha desarrollado su idea?

¿Cómo hacer entender a los empresarios que lo que hacemos las universidades a escala de laboratorio y luego a escala piloto, muy probablemente ellos lo llevarán a un desarrollo industrial y que eso tiene valor? Los empresarios deben reconocerlo de alguna manera. La idea es empezar a crear una masa crítica de personas que manejen el tema de gestión de conocimiento para bien de la sociedad.

Tercer Foro

Tuvo lugar el día 14 de agosto de 2009, en el Auditorio Q103 de la Universidad Nacional de Colombia de la ciudad de Manizales. La conferencia estuvo a cargo de Mauricio Duque Escobar, Profesor e Investigador de la Facultad de Ingeniería y del Centro de Investigación y Formación en Educación de la Universidad de los Andes. En el Panel participaron Carlos Ariel Cardona, Profesor investigador de la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales; Alvaro Ángel Orozco Gutiérrez, Profesor titular y Director del grupo de investigación en control e instrumentación de la Universidad Tecnológica de Pereira; Alberto Ocampo Valencia, Director de la maestría y del pregrado en ingeniería eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

I. Conferencia

Cómo formar ingenieros para la innovación

Mauricio Duque Escobar
Universidad de los Andes, Bogotá

Preguntas fundamentales

¿Para qué necesita la sociedad a los ingenieros?

¿Cómo se forman ingenieros que respondan a estas necesidades?

La respuesta es compleja y a menudo explorada con poco rigor, con miradas fragmentadas.

¿Qué es ingeniería?

La Ingeniería es un proceso profundamente creativo de diseño tecnológico, según requerimientos y restricciones técnicas, económicas, financieras, políticas, sociales y éticas.

- La tecnología es producto de la ingeniería.
- La ingeniería es mucho más que ciencia aplicada.

La ingeniería impacta el bienestar social y, con sus actividades y productos, transforma profundamente sociedades y culturas. La ingeniería es factor para promover la innovación y el aumento de la productividad y la competitividad. La ingeniería es ahora más importante que nunca. La ingeniería se está convirtiendo en contenido de la educación básica (Enfoque STEM: Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

La labor del ingeniero, su competencia central

El ingeniero analiza problemas abiertos, complejos, mal definidos, para transformarlos en problemas técnicos que puedan resolverse, de modo que se puedan estimar los resultados, lograr soluciones de diseño innovadoras y creativas en contextos de alta incertidumbre y evaluar su calidad y cumplimiento de las especificaciones y requerimientos en relación con estándares éticos y profesionales².

² Ciencia e Ingeniería en la Formación de Ingenieros. De las competencias a los objetivos educacionales. Hans Peter Christensen

Innovación

No es simplemente hacer cosas novedosas. Es desarrollar ideas que tienen un efecto concreto en la productividad. Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado (Real Academia Española, RAE). Son ideas aplicadas exitosamente.

No basta la actividad de la ingeniería para innovar. La innovación se presenta a menudo en el lugar de actividad cuando se observan críticamente los procesos y productos. La innovación involucra a la organización completa, a la sociedad completa, productores, consumidores, organismos de regulación, de investigación. La innovación es una actitud contraria a contentarse con lo que se tiene y se hace.

La innovación requiere una mirada holística, una red social.

Requiere de ciudadanos que comprendan la ciencia y la tecnología, que puedan utilizarla para mejorar actividades, procesos y productos. Requiere de ciudadanos con sentido crítico y observador, adaptativos, creativos, capaces de detectar y presentar problemas, capaces de proponer soluciones. Requiere de ingenieros innovadores, capaces de desarrollar soluciones tecnológicas apropiadas a los problemas encontrados, capaces de anticipar las necesidades futuras.

Educación de ingenieros e innovación

¿Cómo lograr educar ingenieros capaces de promover procesos de innovación?

Un argumento frecuente: “mejor malo conocido que bueno por conocer”

Un argumento anti-innovación: Si la forma como nos han enseñado y como hemos enseñado funciona, si somos un ejemplo de que el sistema de educación existente funciona, entonces ¿para qué cambiar? Si no podemos innovar en educación, ¿podremos formar ingenieros innovadores?

Formar ingenieros: un asunto de tradición o de ciencia

El conocimiento científico (natural y social), matemático y tecnológico está en la base de la ingeniería

¿Necesitamos cambiar? ¿Por qué? Empecemos por innovar en educación

Hechos	Implicaciones	Respuesta de la ingeniería
Conocimiento científico sobre el aprendizaje	Oportunidades de mejoramiento	Nuevas soluciones Nuevos diseños Nuevos procesos
Nuevas tecnologías (TIC)	Confrontar algunas prácticas tradicionales	
La globalización, la competitividad, la avalancha de información	Potenciar la educación	
	Nuevos estilos de aprendizaje. Sociedad digital	
	El contexto de desempeño ha cambiado	

¿Por qué necesitamos cambiar?

Hecho:

Conocimiento científico sobre el aprendizaje

Implicaciones:

Oportunidades de mejoramiento, confrontar algunas prácticas tradicionales.

Respuesta de la ingeniería:

Nuevas soluciones, nuevos diseños, nuevos productos.

Cambios de paradigmas:

- Conocer ha cambiado de ser capaz de recordar y repetir información, a ser capaz de encontrarla y utilizarla.
- De la enseñanza al aprendizaje
- Los estudiantes vienen con conocimientos que facilitan o dificultan el aprendizaje.
- Aprender implica encontrar sentido.
- Se aprende a partir de lo que se sabe, encontrando sentido, conectando.
- La didáctica de las disciplinas es fundamental.
- Los estudiantes deben asumir el control de su proceso de aprendizaje y desarrollar meta cognición.

La visión moderna de un dicho antiguo:



Para la innovación se requieren personas con creatividad, iniciativa, adaptabilidad y capacidad de resolver problemas (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD). Un esquema frontal de “transmisión de contenidos” no se orienta a desarrollar estas habilidades/actitudes y en consecuencia poco puede lograr.

¿Por qué necesitamos cambiar?

Hecho:

Nuevas tecnologías (TIC)

Implicaciones:

Potenciar la educación, nuevos estilos de aprendizaje. Sociedad digital

Respuesta de la ingeniería:

Nuevas soluciones, nuevos diseños, nuevos productos.

- Las tecnologías de la información y la comunicación están modificando la forma como aprendemos. La mayoría de nuestros estudiantes no conocieron un mundo sin tecnología digital.
- Para la mayoría de las personas las estrategias inductivas en el aprendizaje son más efectivas.
- Los profesores somos en general deductivos
- Lo que nos ha servido parece no servirle sino a una minoría.
- Las TIC son una oportunidad para mejorar los procesos de aprendizaje: Pero, ¿cómo? ¿Qué podemos agregar a una clase en Internet? (Ver cursos de física en línea del Massachusetts Institute of Technology³)

³ <http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Physics/8-01Physics-IFall1999/VideoLectures/>

¿Por qué necesitamos cambiar?

Hechos:

La globalización, la competitividad, la avalancha de información.

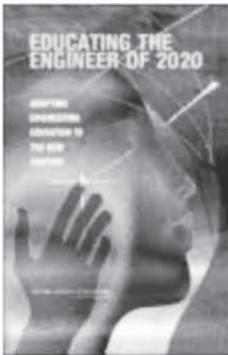
Implicación:

El contexto de desempeño ha cambiado.

Respuesta de la ingeniería:

Nuevas soluciones, nuevos diseños, nuevos productos.

Cambios en el contexto de desempeño de los ingenieros:



THE ENGINEER OF 2020

VISIONS OF ENGINEERING
IN THE NEW CENTURY

NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS
WASHINGTON, DC
www.nae.org



“Los nuevos imperativos de una economía global implican nuevas habilidades, en consecuencia, el sistema educativo debe innovar para responder a estos nuevos requerimientos” (OECD)

Para concluir: la ingeniería frente a una sociedad compleja, cambiante, globalizada, con grandes retos

- El conocimiento codificado crece exponencialmente: es imposible enseñar durante una carrera de pregrado todo lo que se pueda requerir.
- Los problemas a los que se enfrenta el ingeniero son cada vez más complejos: medio ambiente, sociedad, economía, cultura, etc.
- Los problemas que se solucionan con tecnología son cada vez más variados: educación, salud, recreación, diversión, arte, etc.
- La tecnología está modificando profundamente la sociedad: el motor de la globalización es la tecnología

Unas palabras sobre el cómo: una contradicción fundamental

Cuando investigamos:

- Trabajamos en torno a una pregunta o problema que tiene sentido para nosotros.
- No seguimos un libro de texto, buscamos simultáneamente en muchos lugares.
- Lo que aprendemos sabemos para qué sirve.
- Observamos, manipulamos, ensayamos, nos equivocamos, aprendemos de los errores, el error es parte del proceso.
- El control del proceso de aprendizaje está en nuestras manos.
- La “matematización” es en general precedida por la observación, manipulación y la reflexión.
- Construimos colectivamente con otros.

Docencia vs investigación

Un gran error: suponer que la investigación disciplinar mejora la docencia; suponer que la investigación que requiere una universidad para mejorar su docencia es la investigación universalmente nueva

Pero ¿cómo enseñamos?: ¿algún parecido con nuestras prácticas?

Enseñar a investigar no es exigir una tesis al final de la carrera, es proponer la utilización de estrategias de investigación en el aprendizaje. El diseño curricular debe salir de la simple suma de bloques y cursos en torno a una distribución de contenidos: deben ser caminos viables y flexibles de aprendizaje.

A título de preámbulo

Suponer que una élite puede promover innovación en un marco en que la mayoría no tiene acceso a educación pertinente de calidad es una utopía (OECD-PISA).

El compromiso de las facultades de ingeniería no sólo es con la formación de sus estudiantes, sino con la formación de ciudadanos para este siglo.

No responder a este compromiso es hacer la tarea a medias y fallarle a la sociedad.

2. Panel

Participantes:

Carlos Ariel Cardona
 Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
 Alvaro Ángel Orozco Gutiérrez
 Universidad Tecnológica de Pereira

Moderador:

Alberto Ocampo Valencia
 Universidad Tecnológica de Pereira

¿Cómo deben ser planeados los procesos enseñanza-aprendizaje en los programas de ingeniería de forma que se potencien y promuevan la innovación y el desarrollo tecnológico?

Alvaro Ángel Orozco Gutiérrez

Desde el perfil	Propuesta
Del medio institucional	Con currículos adecuados y flexibles, con programas de maestrías y doctorados paralelos, con procesos de investigación vigente, con una verdadera relación universidad – empresa y con voluntad política.
De los estudiantes	Deben estar adecuadamente motivados y capacitados.
De los docentes	Debe haber una planta de docentes adecuada, que entienda la innovación y propicie el desarrollo tecnológico.

¿Existen las condiciones políticas, sociales, económicas y culturales en el nivel nacional, regional y local para la promoción del desarrollo científico, tecnológico y la innovación desde nuestras facultades de ingeniería? ¿Qué se debe mejorar y proponer?

Alvaro Ángel Orozco Gutiérrez

Condiciones	Políticas
Políticas	<ul style="list-style-type: none"> • No existen en los empresarios. • Existen parcialmente en algunos rectores de universidades. • En el ámbito nacional existe la cultura pero es incipiente. • La corrupción impide que algunos programas estatales de financiación de proyectos se desarrollen de manera plena. • Las incubadoras y los procesos de emprendimiento son liderados por personal sin una adecuada experiencia para entender la dinámica de los emprendedores y los alcances e implicaciones de los desarrollos tecnológicos de las regiones.

Sociales	El medio social está preparado para la innovación, especialmente para todo aquello que requiera de ingeniería inversa.
Culturales	Aun no hay cultura para la innovación.
Económicas	Por parte de los empresarios, normalmente los desarrollos e innovaciones implican un riesgo para los inversionistas. Por tanto, no promocionan el asunto. El gobierno trata de hacer algunas asignaciones presupuestales importantes, pero no son suficientes.

¿Qué se debe mejorar? Más acompañamiento, más recursos humanos y técnicos.

¿Qué se debe proponer? Un porcentaje mayor en los recursos asignados a la Investigación por parte del gobierno, más reingeniería, más transparencia.

¿Qué perfil se requiere en un ingeniero-docente para que contribuya a la consolidación y promoción de la innovación y el desarrollo tecnológico con sentido social?

Alvaro Ángel Orozco Gutiérrez

Los profesores deben propender por mejorar y explorar; debe existir una motivación académica y económica; necesitamos doctores con tesis comprometidas con el desarrollo regional.



Capítulo 2

Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009



La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería –ACOFI– organizó su XXIX Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería, entre el 16 y el 18 de septiembre de 2009, reuniendo a representantes de la educación en ingeniería, tanto nacionales como internacionales. La presente edición tuvo como novedad la realización de Expoingeniería, una feria donde se presentaron grupos de investigación relacionados con la ingeniería.

El desarrollo del tema central, “Ciencia, tecnología e innovación en ingeniería, como aporte a la competitividad del país”, permitió a los participantes conocer el estado de la reflexión teórica y algunas propuestas prácticas, al respecto, en los ámbitos nacional e internacional, para enfrentar los retos en la formación de ingenieros en el horizonte del año 2020.

La reunión contó con conferencias magistrales, sesiones orales, exhibición de pósteres, presentación de experiencias exitosas, paneles y mesas de trabajo, en torno a los ejes temáticos propuestos.

Los diversos planteamientos proporcionaron la ocasión para que los representantes de los sectores educativo, gubernamental, productivo y gremial, discutieran propuestas para responder a los retos que plantea el desarrollo de Colombia. Este gran encuentro permite a las facultades de ingeniería la construcción de las estrategias adecuadas para participar en el desarrollo del país.

— Conferencias —

La Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009 invitó a un grupo de expertos nacionales e internacionales para conocer sus planteamientos y reflexionar acerca del modo como el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en ingeniería, pueden convertirse en elementos fundamentales para el desarrollo de la competitividad del país.

Primera Conferencia

Gabriel Burgos Mantilla

Viceministro de Educación Superior, Ministerio de Educación Nacional

Es para mí muy grato tener la oportunidad de participar en la instalación de la Reunión Nacional y Expoingeniería, organizada por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI. Quiero felicitar a todo al equipo organizador por el gran esfuerzo realizado para llegar al país con un tema de gran importancia, tanto para la educación como para el desarrollo de Colombia.

Hoy en día nadie duda de que la riqueza de las naciones está relacionada con su capacidad de utilizar, crear y adaptar conocimientos y tecnología. Un elemento fundamental en este proceso es la educación superior. Colombia, en esta década, ha hecho grandes esfuerzos para fortalecer y desarrollar una educación superior influyente, con calidad y pertinencia.

Permítanme que les dé algunas cifras para argumentar esta afirmación:

En el tema de la inclusión hemos aumentado la cobertura de un 24%, al terminar el año 2002, a un 35,5% en el primer semestre de este año; pasamos de 1.000.148 estudiantes a un poco más de 1.550.000. En este crecimiento ha jugado un papel fundamental el sistema de educación superior público que duplicó el número de sus estudiantes, en este periodo. El Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, también ha jugado un papel muy importante, ya que incrementó la matrícula en sus programas técnicos y tecnológicos en más del 500%. Los estudiantes de pregrado, en los diferentes programas, llegaron a 961.000 en 2008; de ellos el 36% están matriculados en programas de ingeniería. Esto significa un cambio en la relación entre los números de los estudiantes que asisten a los dos sistemas de educación superior que coexisten en el país. En el 2002, el 45% de los estudiantes de la educación superior asistía a las instituciones de educación superior pública y el 55% al sistema privado. Hoy la relación se ha invertido: el 55% de los estudiantes va al sistema público y el 45% al privado. Esta modificación ha implicado una mejora en la equidad. La mayoría de los estudiantes de la educación superior en Colombia asiste al sistema público, por lo que reciben un importante subsidio del Estado. Las cifras nos indican que más del 85% de estos muchachos pertenecen a los estratos uno y dos, que corresponden a los de las familias de menores ingresos. En este proceso ha jugado un papel fundamental el Instituto Colombiano de Crédito y Estudios Técnicos en el Exterior, ICETEX¹, que

¹ Entidad dedicada a promover la Educación Superior a través del otorgamiento de créditos educativos y su recaudo.

financia la demanda. Entre el 2003 y el 2008, el número de estudiantes que accedió al crédito educativo, pasó de 21.080 a 155.476, lo que implica que el 13,7% de los estudiantes que asisten al sistema, recibe subsidio a la demanda; el 96% de estos estudiantes pertenece a los estratos uno, dos y tres.

Pero este proceso de inclusión y de ampliación de cobertura no ha venido solo, ha venido acompañado de un proceso de calidad, pues no se puede hablar de inclusión y cobertura sin calidad. El sistema de calidad de la educación superior se ha venido consolidando en sus dos sistemas: el registro calificado y la acreditación voluntaria. El 97% de los programas de pregrado y posgrado que hoy se ofrecen en el país tiene registro calificado. La oferta en junio, de este año es de 8.193 programas; de estos, 647 se han sometido a acreditación voluntaria. Aquí quiero precisar que no todos los programas se pueden volver de acreditación voluntaria, porque tiene que pasar un tiempo de dos ciclos para que puedan volver a someterse: de acuerdo con nuestros cálculos, unos 3.000 programas podrían someterse a acreditación voluntaria. En el tema de la acreditación institucional, 17 instituciones de educación superior se han acreditado institucionalmente, la última de ellas la Universidad Nacional de Colombia.

Pero la educación, además de ser incluyente y de calidad, debe ser pertinente, debe asegurar que los estudiantes alcancen un desempeño ciudadano y productivo exitoso para mejorar sus condiciones de vida y garantizar la competitividad del país. Varias políticas se han ido implementando durante estos años en el tema de la pertinencia en la educación: desarrollo de las competencias de los estudiantes, articulación de la educación media con la superior, adecuación y flexibilización de la fuente educativa, introducción de las nuevas tecnologías de la información, implementación del bilingüismo en todo el sistema educativo, fortalecimiento de la educación técnica y tecnológica y desarrollo de la investigación y de la innovación.

En el tema del fortalecimiento de la educación técnica y tecnológica, el Ministerio promovió y está financiando 36 alianzas estratégicas dentro del sector productivo con las instituciones de educación superior, las instituciones de educación media y los gobiernos regionales, con miras a generar programas técnicos y tecnológicos profesionales que atiendan a las necesidades de los sectores productivos de las regiones. Estas alianzas, que a la fecha ofrecen alrededor de 220 programas técnicos y tecnológicos en 49 sectores estratégicos de la economía, como la agroindustria, la industria manufacturera, los servicios, la biotecnología y el medio ambiente, los sectores agropecuarios y agroforestales, se ofrecen en 25 departamentos. Con ello aspiramos a que se consolide el proceso de crecimiento del sector de esta educación técnica y tecnológica en el país, que es vital para nuestro desarrollo. Además de los logros en este tipo de formación, es importante la evolución del número de estudiantes: el sistema técnico y tecnológico pasó del 18% del total en el 2002, al 31% en el 2008.

En el fortalecimiento de la investigación e innovación también se han hecho esfuerzos. El primer objetivo en este campo es que, en el año 2010, el 15% de los profesores vinculados a las universidades en modalidad de tiempo completo tenga título de doctorado; y que, en el 2019, esta cifra llegue al 30%. Para conseguirlo, estamos dando los pasos convenientes. Hemos logrado que los programas de las universidades colombianas, con doctorado, pasaran de tener 583 estudiantes el año 2003, a 1.538 estudiantes en el año 2008. Es decir, hoy, en los programas doctorales de las universidades colombianas, están vinculados 1.538 estudiantes. Hace seis o siete años había no más de 500. En el campo concreto de la ingeniería, pasamos de 90 estudiantes de doctorado en ingeniería en el 2003, a 381 estudiantes, en el 2008. En las maestrías también ha habido un incremento importante, durante estos años. Pasamos de 8.978, estudiantes a 16.317, los cuales el 16% está matriculado en programas relacionados con la ingeniería. Al finalizar el año 2008, se ofrecían en el país 71 programas de doctorado, destacando que en ese mismo año se crearon siete programas de doctorado en ingeniería en las universidades colombianas. Hemos fortalecido los programas bilaterales de apoyo a doctorados de investigación, como el programa ECOS NORD² con Francia que ustedes conocen mucho, el convenio con la DAAD³ de Alemania, los convenios con los Países Bajos, con España y con la comisión Fulbright⁴ de los Estados Unidos. Mediante estos convenios, en estos años, han sido apoyados 91 docentes para hacer sus programas doctorales en estos países; de ellos, 26 están relacionados con la ingeniería.

También estamos trabajando para ampliar el uso de RENATA⁵, como una herramienta para la investigación en tecnología de la información y la comunicación, que contribuya a la descentralización y a la desconcentración de las actividades científicas y tecnológicas. El Ministerio ha financiado, en compañía de COLCIENCIAS, 13 proyectos de investigación en el área de ingeniería, a través de RENATA, que se han desarrollado en las diversas universidades del país que son miembros de esta red. Los temas han sido los siguientes: herramientas de gestión de imágenes médicas, experimentación robótica y un sistema piloto para la información de tormentas. Todavía nos falta mucho por hacer, pero hay 13 programas de investigación que van a través de la red.

Adicionalmente, hemos abierto dos convocatorias para que programas consolidados de maestría pasen a ser doctorados; en ellas apoyamos doce programas, dos de los

² Acuerdo de cooperación técnica y científica firmado entre Colombia y Francia en el año 1996, para fomentar y desarrollar la cooperación mutua entre las instituciones de educación superior y de investigación.

³ Servicio Alemán de Intercambio Académico: la organización promotora del intercambio internacional de estudiantes y científicos

⁴ Programa establecido en Estados Unidos por la iniciativa legislativa del senador J. William Fulbright, en 1946, con el fin de promover el intercambio educativo y cultural entre Estados Unidos y otros países del mundo

⁵ Red de tecnología que conecta, comunica y propicia la colaboración de la comunidad académica y científica de Colombia con la comunidad académica internacional y los centros de investigación más desarrollados del mundo. Es administrada por la Corporación RENATA, de la cual son miembros las Redes Académicas Regionales, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y Colciencias.

cuales son ingeniería. También abrimos dos convocatorias para que programas de especialización pasen a ser maestrías; en las mismas han sido apoyados 12 programas, de los que 9 son de ingeniería. Todo este trabajo se ha hecho en universidades regionales. Aquí quiero hacerles un comentario. Al hacer los primeros programas para doctorado, nos encontramos que quienes aspiran a ellos, vienen de universidades de Bogotá y Medellín y es muy poco el esfuerzo de las universidades regionales. Por tal motivo, hemos decidido bajar un poco el programa, para que las universidades regionales primero pasen de especializaciones a maestrías y vayan creando la masa crítica de maestros, para pasar después a doctorados, de modo que así se fortalezca la universidad regional. Por lo tanto, los programas van a pasar primero de especializaciones a maestrías, y posteriormente de maestrías a doctorados.

Es importante destacar la mayor capacidad investigativa que se refleja en estos años. Hoy día, en la última clasificación, existen 3.886 grupos de investigación reconocidos por COLCIENCIAS; de ellos, 533 en temas relacionados con ingeniería: es más de 100 veces el número de grupos de investigación que había en los años ochenta. Es decir, sí ha habido un esfuerzo importante en el campo de la investigación durante estos años. También me parece importante comentarles que hay 533 grupos de investigación en ingeniería, de los que 55 han sido clasificados en las categorías A1 y A.

En materia de apropiación de la ciencia y la tecnología, la universidad enfoca sus esfuerzos a favorecer espacios donde los grupos sociales, académicos, económicos y políticos puedan debatir sobre las decisiones políticas en las que la ciencia y la tecnología juegan un papel preponderante. Asimismo a promover la circulación de la información en medios masivos de comunicación sobre conocimiento y procesos de innovación. De esta manera, el país tendrá la capacidad de respaldar a las empresas en sus actividades de búsqueda, evaluación, negociación y apropiación de tecnología, establecer mecanismos de apoyo diferenciados según el sector de la producción que se atiende y el tamaño de la empresa beneficiaria y contribuir a la formación de alianzas entre entidades del conocimiento y empresas, tales como los comités universidad-empresa-estado que se han venido constituyendo en distintas regiones del país. Aspiramos a que la cobertura llegue al 50% en el 2019 y que, igualmente, cumplamos la meta del número de doctores. Asimismo, el crecimiento y la calidad de los grupos de investigación que soporten los procesos de innovación y competitividad del sector productivo, permitirá una mejor calidad de vida para todos los colombianos. Ustedes han visto los esfuerzos de COLCIENCIAS, que ha abierto la convocatoria para los 500 doctores. También han visto el esfuerzo de COLFUTURO⁶, que aspira a enviar al extranjero 1.000 profesionales a partir del año entrante, 1000

⁶ Programa de Gobierno Nacional de Colombia que promueve, orienta, financia y participa en la formación de profesionales colombianos a nivel de posgrado fuera del país

profesionales a programas de maestría y doctorado al extranjero. Pero para llevar a cabo todo esto, es necesario arbitrar nuevos recursos para el sistema de educación superior, y este es el debate que tenemos que acometer en el país: nuevos recursos para la educación superior.

Hay tres grandes retos que voy a dejar planteados, y con los que quiero terminar mis palabras:

El primero es el reto de COLCIENCIAS. Se logró una nueva ley en ciencia y tecnología, que convierte a COLCIENCIAS en un departamento administrativo, de modo que el representante de COLCIENCIAS asista al Consejo de Ministros y al Consejo Nacional de Política Económica y Social –CONPES–. Se creó un fondo, pero si no hay recursos para ese fondo de investigación no va a haber investigación. Nuestro gran reto es cómo arbitrar recursos del Estado o de las empresas para que se fortalezca el fondo y pueda llegar a la meta propuesta para el año 2016: que el 1% del Producto Interno Bruto –PIB– se invierta en ciencia y tecnología. Todavía es muy poco, comparado con lo que invierten otros países, incluidos los de la misma región, pero ya es una meta interesante, porque en este momento, no llegamos al 0.5% del PIB en inversión en ciencia y tecnología.

El segundo reto para estos años próximos, es el tema del ICETEX. Yo les decía que el ICETEX ha pasado de financiar 21.000 estudiantes a financiar 155.000. Pero si queremos llegar a la meta del 50% en cobertura, implica un esfuerzo casi doble. Se tendrían que financiar 200.000 estudiantes nuevos y mantener los que están financiados. En este asunto nos hemos encontrado con una dificultad: el tema de las carteras perdidas. El muchacho que logra terminar su carrera profesional y sale a la vida laboral, cumple. En este sector la cartera pérdida está en un 9%, lo que es alto si lo comparamos con el sistema bancario; pero es una cifra que se puede manejar, ya que el joven profesional, si quiere ser exitoso, debe cumplir con sus obligaciones financieras, por lo que creemos que se puede bajar a una tasa razonable. Pero el problema serio que tenemos es el de la deserción del estudiante que ingresa a la universidad, se le da un crédito y al tercer o cuarto semestre se retira. Tenemos una cartera pérdida del 25%, y en las proyecciones que hemos hecho, si eso no se soluciona el ICETEX no tiene futuro pues perdería su cartera. Tenemos un crédito con el Banco Mundial, el último todavía no lo hemos monetizado todo hasta que no tengamos esa claridad. Invitamos a las universidades privadas, que reciben el 90% de los estudiantes que tienen crédito con esta entidad, a que nos acompañen en este reto. Tenemos dos retos. El primero bajar la deserción, porque el estudiante que deserta no paga ya que es un muchacho que no tiene futuro. Sabemos que debemos bajar la deserción y para eso tenemos un instrumento muy valioso que es el Sistema de Prevención y Análisis a la Deserción en las Instituciones de Educación Superior –SPADIES–. Insisto: con un 25% de pérdida de cartera no hay posibilidad de sostenerse. El segundo tema que le proponemos a la

universidad y al sector privado de la educación es crear un fondo de garantía de estos créditos. Para ello, hemos mantenido reuniones en varias oportunidades, y hemos llegado a acuerdos. Creemos que podemos implementarlos, y las soluciones están en camino. Lo cierto es que para poder cumplir las metas del ICETEX y poder llegar al año 2019 con una cobertura del 50% de educación superior en el país, esta entidad tendría que tener colocados unos 8 billones de pesos en cartera, y esto implicaría que el fondo de garantía tendría que valer 750.000 millones. El acumulado de todos estos años, es un gran reto pero hay que acometerlo. Yo considero que el ICETEX es un instrumento muy valioso para la educación superior en Colombia, muy valioso para el sistema privado, ya que hay universidades cuyo crecimiento no hubiera sido posible si no existiera este tipo de entidades. Lo que hay que promover es un trabajo conjunto entre el sector privado de la educación y el gobierno, para fortalecer al ICETEX, para que perdure en el largo plazo. Si logramos solucionar este problema de la cartera pérdida, vamos a tener una institución fuerte y poderosa que va a servir a la educación superior del país y a los colombianos.

El tercer reto es el tema de tener más recursos para la universidad pública ya que el número de bachilleres está creciendo y crecerá hasta el año 2015. Estos muchachos tienen que entrar al sistema y son personas que provienen del sistema más bajo y por lo tanto tienen que acudir a la universidad pública. Hay que hacer un esfuerzo para saber hacia dónde encaminar esos recursos. Nuestra posición en el Ministerio, es que sin perjuicio de los dineros que hoy en día se entregan a la universidad pública, los nuevos recursos deben dirigirse a apoyar el desarrollo de las universidades regionales. Tomando como referencia el billón seiscientos mil millones de pesos que fue el presupuesto de este año para la educación de las universidades públicas para gastos de funcionamiento, el 45% llegó a 3 universidades: la Universidad Nacional, la Universidad de Antioquia y la Universidad del Valle; mientras que 20 universidades regionales no recibieron más del 1%. Por esta razón, es para nosotros un gran reto, primero conseguir nuevos recursos y segundo equilibrar el reparto de esos recursos sin perjudicar a las grandes universidades porque también hay que protegerlas a ellas. Pero estamos convencidos de que, para el beneficio del país y de todos los colombianos debemos contar con universidades regionales de alto nivel. La calidad son recursos. Esperamos que las universidades grandes también apoyen las universidades regionales, porque en estas 20 universidades que reciben solo el 20% del presupuesto, estudia más del 51% de los estudiantes de educación superior del sistema público y debemos tener universidades de calidad.

Segunda Conferencia

Una mirada a los esquemas brasileiros de apoyo a la investigación y el desarrollo

Adnei Melges de Andrade,

Director del Instituto de Electrónica y Energía, Universidad de Sao Paulo, Brasil.

Brasil es un país con 192 millones de personas que tiene una superficie de 8,5 millones de kilómetros cuadrados. Hoy está posiblemente en el décimo lugar en el ranking del Producto Interno Bruto. Pensaríamos que Brasil es un país muy exitoso de una economía en desarrollo, porque tenemos una combinación estratégica muy interesante, de gran superficie del país por población y también con un Producto Interno Bruto, PIB, bastante voluminoso. Estamos con China, India y Rusia en una combinación estratégica de países, denominada BRIC⁷, donde es interesante notar que es el único país ubicado en el occidente y que es una democracia.

Hablando acerca de números, Brasil tiene una economía muy fuerte, con un PIB de 1×10^9 USD PPP (paridad de poder adquisitivo) en 2008, con un crecimiento no tan grande como los otros del BRIC, pero que es importante, con un 5,1% en 2008. Este año se cree que, incluyendo la crisis que tuvimos, debe ser de un 4%. En la tabla se observa la distribución porcentual de la agricultura con un 5,5%, de la parte industrial con un 28,7% y de la parte de servicios con casi dos tercios del total. La población crece a un 1,2% en el año 2008 y tenemos un PIB *per cápita* de 10.500 dólares. Esto es interesante para entender el porqué de la situación que tenemos en Brasil.

	Año	
GDP 1×10^9 USD PPP	2008	1.994
GDP growth	2008	5,1%
Agriculture GDP	2008	5,5%
Industrial GDP	2008	28,7%
Services GDP	2007	65,8%
Population		$1,92 \times 10^5$
Population growth		1,2 %
GDP per capita (USD PPP)	2008	10.551

⁷ En economía internacional, se emplea la sigla BRIC para referirse conjuntamente a Brasil, Rusia, India y China, que tienen en común una gran población (Rusia y Brasil por encima de los ciento cuarenta millones, China e India por encima de los mil cien millones), un enorme territorio (casi 38.5 millones km²), lo que les proporciona dimensiones estratégicas continentales y una gigantesca cantidad de recursos naturales, y, lo más importante, las cifras que han presentado de crecimiento de su PIB y de participación en el comercio mundial han sido enormes en los últimos años, lo que los hace atractivos como destino de inversiones. Consultado: <http://es.wikipedia.org/wiki/BRIC>

En la siguiente tabla, podemos observar que tenemos un 97,6% de la población entre 7 y 14 años en las escuelas elementales; en la secundaria tenemos un 40% entre 15 y 18 años, en la educación superior entre 18 y 24 años el 15% que aún es poco.

	Año		
School enrollment fundamental, ages 7 – 14	2006	97,6%	
School enrollment, high school, ages 15 – 18	2006	40,0%	
Higher education enrollment, ages 18 – 24	2007	15,0%	
Scientific papers published	2008	30.145	2,12% of the world production – 13th in the ranking
Doctoral degrees (graduate) / year	2008	9.919	1,2% employed in industries
Patents	2007	384	14 th in the world patents ranking

Pasando ahora a algunos indicadores científicos, tenemos que en el año 2008, tenemos un poco más de 30.000 publicaciones en revistas indexadas. Este dato es interesante, porque es el 2,12% de la producción mundial, lo que quiere decir que estamos en el decimotercer lugar del ranking. Además, graduamos 10.000 doctores al año. Ahora es cuando nos fijamos en los problemas. En 2007, apenas teníamos 384 patentes internacionales. Cuando hablamos de los doctores formados, aparece otro problema: apenas el 1,2% son empleados en industrias. Y cuando miramos el número de patentes, estamos en el número 24 del ranking mundial. Estos datos nos indican que algo no está bien.

Acerca del sistema de posgrados⁸ en Brasil, los datos de mayo de 2009, indican que tenemos 44.000 profesores, la mayoría de enseñanza superior, con cerca de 150.000 estudiantes; tenemos las maestrías científicas y las maestrías profesionales suponen dos tercios de ese número. Por otra parte 52.750 estudiantes de doctorado. En términos de becas de diversas fuentes, ya sean becas federales o de los estados, tenemos 49.000 becas para la formación de doctores o de maestros, con cerca de 31.500 estudiantes de maestría y 17.500 estudiantes de doctorado.

¿Cuáles son los efectos de esta situación en el sistema de innovación? Precisamos aumentar el número de científicos en las industrias. Vamos a hacer alguna comparación. Tenemos cerca del 23% de nuestros científicos en industrias, son menos de 20.000. Si comparamos con los Estados Unidos, ellos tienen 790.000, esto es el 80% del total

⁸ Con información de: Programas Recomendados e Reconocidos, en <http://www.capes.gov.br/cursos-recomendados> (04/05/2009), Coleta 2008 y Student inventory, mayo 2009.

de científicos. Si comparamos con un país como Corea del Sur, cuando empecé mi carrera, en 1970, estaban detrás de Brasil; hoy observamos que, mientras tenemos menos de 20.000 doctores en las industrias, ellos tienen 94.000, es decir un poco más del 50% de los científicos. Por lo tanto, la investigación y el desarrollo deben aumentar en las empresas. Podemos ver que en las empresas en que lo hacen con intensidad, tienen buenos resultados: La *Petrobras*, por ejemplo, que es una de las grandes empresas petroleras del mundo en investigación y desarrollo, está ubicada en el undécimo lugar en innovación y desarrollo en su sector; la *Embraer*, que fabrica aviones, está colocada como cuarta productora en el mundo, y en investigación y desarrollo ocupa el lugar decimoséptimo en el sector aeroespacial; la *Embrapa*, que es una empresa gubernamental que trabaja en investigación en el agro, ha hecho que Brasil pase a ser el primero en producción de soya, el primer país en exportación de carne y el primer país en producción de bioetanol. Esto comprueba la importancia de la investigación en las empresas. Pero ahora podemos constatar cuál es el gran problema: es que tenemos un buen sustrato de ciencia y tecnología, pero que no sabemos transformarlo en riqueza. Se puede comprobar esta afirmación cuando se observa el número de documentos de patentes.

Sistema de innovación brasileño

En nuestro sistema federal hay cuatro ministerios que trabajan muy fuertemente en el soporte del sistema de investigación y desarrollo. Uno de ellos es el Ministerio de la Ciencia y la Tecnología, que es una especie de agente para cuidar de los soportes al sistema; el Ministerio de la Educación que trabaja con dos organismos: la *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* –Capes⁹, que cuida esencialmente del perfeccionamiento del personal de enseñanza superior pensando en la formación de maestros, pero que también hace regularmente una evaluación anual de los programas de posgrado, y el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Tenemos un apoyo muy fuerte del Ministerio de Industria y Comercio a través de la agencia brasileña de desarrollo industrial, y el Ministerio de Agricultura que trabaja con la *Embrapa*.

Después del sistema federal tenemos los gobiernos de los estados que fundaron, a ejemplo del primero, la *Federação das Indústrias do Estado de São Paulo* –Fiesp–. Hay 16 fundaciones de apoyo a la investigación en Brasil y existen también institutos de investigación y desarrollo independientes; hay parques de ciencia y tecnología que están en diversos estados de la federación y están también las escuelas técnicas. Es claro que, dentro del sistema brasileño de innovación, las universidades tienen un

⁹ Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES) desempeña un papel en la expansión y consolidación de postgrado (maestría y doctorado) en todos los estados de Brasil. www.capes.gov.br

papel muy fuerte porque producen los investigadores que trabajan en la formación en maestría y doctorado; el sistema privado también tiene su papel importante, como la Confederación Nacional de las Industrias de las Federaciones de cada estado brasileño. Evidentemente la industria también actúa en innovación e investigación y desarrollo, como las empresas de la agroindustria, empresas de aviación y empresas de energía. Por ejemplo, cuando el sistema brasileño de energía fue privatizado por ley hace tres años, obligó a que todas las empresas hicieran una inversión del 1% de toda su sustentación financiera para apoyar los proyectos de desarrollo en el sector energético, y otras lo hacen en el sector de las telecomunicaciones. Existen también organizaciones no gubernamentales como la academia de ciencias y el sistema brasileño de apoyo a pequeña y mediana empresa –*Sebrae*–.

Acciones federales. Leyes para investigación y desarrollo

En el campo de la educación, el sistema brasileño ha creado escuelas o facultades técnicas, que producen tecnólogos que ayudan en el desarrollo. Esta es una iniciativa de algunos estados, como por ejemplo el de Sao Paulo, que ha creado las *Fapeps*, que forman los tecnólogos, y son apoyados por el gobierno. Existen institutos para algunas áreas consideradas estratégicas, que tienen una misión orientada, como por ejemplo la *Embrapa*, con un instituto de la Amazonia, un instituto de salud o el instituto de botánica, que trabajan muy fuertemente para la producción de las vacunas para la nueva gripe. Tenemos también dos institutos de actividades espaciales que han producido ya tres satélites brasileños que están orbitando, para la recolección de datos. También hay investigación académica y el sistema de educación en el nivel de posgrado. Dentro de las políticas públicas, en el sector privado hay programas de subvención, programas de incentivos fiscales y programas de compras gubernamentales; esto quiere decir que el gobierno compra dando preferencia a productos que son desarrollados a partir de estos incentivos tecnológicos. Hay una estructura de investigación en incubadoras de empresas y en los parques tecnológicos.

Tenemos una serie de políticas continuadas para el sistema de educación, que se desarrollan en cuatro de las leyes más recientes:

- Ley de innovación, que trata de acoplar actividades entre universidad e industria, estimula la propiedad intelectual académica y estimula actividades de investigación y desarrollo en la industria.
- “Ley del bien”, la cual recibió este nombre porque ayuda a las empresas a emplear los doctores dando una serie de incentivos
- Fondos Sectoriales de Ciencia y Tecnología, en los que hay una serie de recursos para ciencia y tecnología para financiar la investigación y el desarrollo de los proyectos de innovación.

- Política industrial y Tecnológica de Comercio Exterior, que tiene tres ejes principales: desarrollo de actividades de innovación y tecnología en lo que respecta a exportación e inserción interna y modernización industrial, ya que actúa en la mejora del ambiente institucional; trabajo en sectores estables respecto a sectores estratégicos, como software, semiconductores, fármacos, drogas médicas y bienes de capital; apoyo a aquellas actividades que involucran el futuro como biotecnología, nanotecnología y energía renovables.

La ley de innovación promueve una relación fuerte entre lo público y lo privado, en compañías de información y comunicación, apoyando el desarrollo entre la universidad y las empresas, disponiendo de laboratorios dentro de las universidades e institutos de investigación para las empresas. El gobierno puede ser un participante financiero, siempre minoritario, en esas empresas de investigación con base de investigación y desarrollo. Esta ley permite que los subsidios económicos puedan ser ofrecidos a las empresas dando becas para investigadores que puedan estimular la innovación dentro de las universidades y posibilitan las pasantías de investigadores en las empresas por un período de tres años renovables por otros tres, con reposición para la universidad de este investigador que sale a las empresas. Otra parte de esta ley es que apoya el inicio de pequeñas y medianas empresas de base tecnológica, ofreciendo bajos intereses para su financiación. Lo más interesante es que este fondo público no exige retorno, y por esto las empresas son muy bien evaluadas al igual que los proyectos, antes de conceder este tipo de apoyo financiero. El gobierno hace por esta ley la compra preferencial de productos de estas empresas, lo que significa una competitividad aumentada. Esta ley apoya y estimula la formación de pequeñas actividades que tienen origen en la academia.

La llamada “ley del bien”, es bastante nueva también, pero ya tiene resultados tales como la reducción de impuestos para equipamiento de investigación y depreciación acelerada de los mismos, créditos para impuestos de renta, para usuarios, asistencia técnica especializada, reducción de impuestos que van hasta el 60% exentos de gastos con innovación tecnológica, pudiendo ser hasta el 80% en función del número de investigadores que son empleados por la empresa. Esta ley comienza a producir el aumento del pequeño número de doctores que están en las industrias, porque dan reales garantías para la industria. Finalmente hay algo importante de esta ley y es que subsidia las industrias que tienen maestros y doctores empleados, hasta el 60% del coste en cargos sociales incluso con el empleo de maestros y doctores.

La política de creación de fondos sectoriales, empezó hace 10 años cuando inició la privatización del sistema de las telecomunicaciones y energía. Las leyes que fueron creadas exigieron una parte del lucro de las empresas para ser aplicada en fondos para la propia actividad que efectuaba la empresa. Entonces fueron creados fondos sectoriales de ciencia y tecnología aeroespacial, agroindustrial, agropecuario, bio-

tecnología, energía, telecomunicaciones y otros. Los recursos financieros para los fondos provienen de los aportes relacionados con los resultados de explotación de los recursos naturales pertenecientes a la federación brasilera. Los fondos sectoriales son financiados principalmente por impuestos sobre el volumen de negocios de la empresa en las industrias que fueron privatizadas en los años noventa, incluida la energía y las telecomunicaciones. Otras fuentes de financiación para los fondos sectoriales son la asignación de los ingresos y una tasa del 10% sobre los pagos a no residentes para la asistencia técnica y regalías. Debido a la introducción del sector de gravámenes específicos, la financiación para la innovación aumentó junto con el incremento de los precios de los servicios después de la privatización. La composición de las fuentes de ingresos varía en los fondos sectoriales. La Financiadora de Estudios de Proyectos del Ministerio de Ciencia y Tecnología –*Finep*–, es el organismo que ordena y dirige los fondos sectoriales; la única excepción es el fondo de telecomunicaciones que está coordinado por el Ministerio de las Comunicaciones

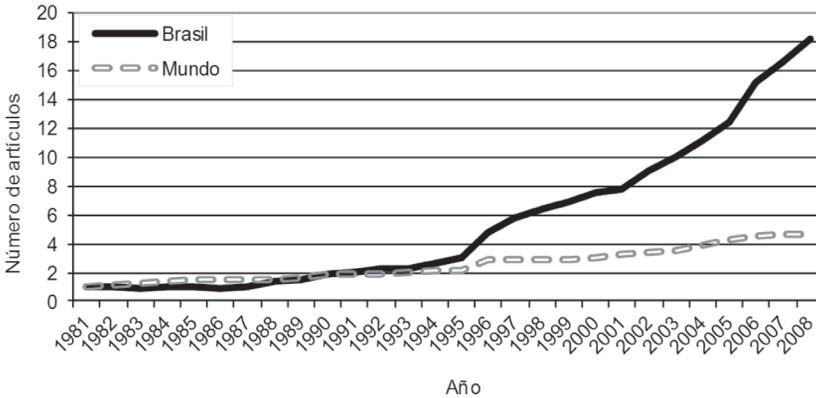
La cuarta de estas actividades políticas en ciencia y tecnología, se denomina Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior –*Pitce*–. Se centra en la promoción de actividades I + D en el sector empresarial, con miras a una mejor integración de la innovación en el gobierno, industriales y políticas de comercio exterior. En 2005, se crearon nuevos incentivos fiscales para la innovación que se introdujeron para reducir la presión fiscal sobre el sector empresarial y facilitar el intercambio de derechos de propiedad intelectual, los ingresos entre las empresas y las universidades públicas e instituciones de investigación.

Por parte del Ministerio de Educación, la *Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Enseñanza Superior* –*Capes*–, en 2008 creó el programa pro-Ingeniería que fortalece y aumenta los programas de ingeniería *stricto sensu* en algunas áreas como ingeniería sustentable, energía renovable y su uso eficaz, biomecánica y procesos biotécnicos, desarrollo de materiales, microsistemas, nanosistemas, fabricación de operaciones de manufactura, control y automatización, tecnología de información y procesamiento en biocombustibles.

Al lado de estos programas, y haciendo parte de sus políticas, la *Capes* creó un portal web para poner a disposición de las universidades una serie de *journals*, que permite al investigador tener acceso a 12.700 colecciones, con 150 bases de datos. Son 260 instituciones brasileras las que tienen acceso a esta información. Este proyecto tuvo un costo de algunos millones de dólares pero ampliamente utilizada es una herramienta muy importante para la investigación, que cuenta con un promedio de 13 millones de texto descargados por año, con 13,8 millones de consultas por año y con más de 120 mil accesos por día.

Hablando de los resultados, en la gráfica podemos observar los reflejos de esta política continuada. Brasil, hace unos treinta años, tenía una participación muy baja en la publicación de estudios científicos, menos del 1%; ahora contamos con un poco más del 2%. Pero si comparamos el resultado de publicaciones científicas en el mundo y en el mismo periodo, se observa que las políticas resultaron.

Producción de artículos científicos, Brasil y el mundo. Fuente: Base de datos Scopus



Sistemas estatales de investigación y desarrollo

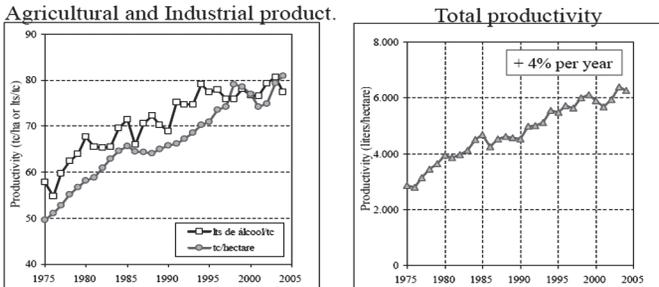
Tras hablar del sistema federal, haré algunos comentarios sobre los sistemas estatales. Tomaré como ejemplo la *Fapeps*, que tiene un poco más de 40 años de existencia. Tiene su fondo garantizado por la ley estatal, la cual le otorga el 1% de toda la recaudación tributaria en todas las ventas de mercancías dentro del estado de Sao Paulo. Esto significa como 320 millones de dólares para ser utilizados exclusivamente en el sistema de ciencia y tecnología. Trabaja dando becas para Brasil y para el exterior, para la iniciación científica de los estudiantes de pregrado que son seleccionados para trabajar con grupos de investigación, programas de maestría, doctorado y post doctorado. También se dan apoyos individuales a investigación: el investigador recibe valores que pueden ser de 50.000 a 100.000 dólares y es manejado en su parte gerencial únicamente por el investigador; pueden ser en bienes de capital consumibles. Puede ser utilizado para vivienda de los investigadores visitantes, también para participación en congresos, publicaciones y otros. Los programas de *Fapeps* cuidan de la infraestructura. Es decir si tengo un laboratorio, puedo pedir, por ejemplo, la compra de un microscopio electrónico; todo tiene siempre su infraestructura y todo tiene que ser utilizado para pagos personales, exceptuando las becas. También hay programas para jóvenes investigadores. Un joven doctor me preguntó ayer cómo se inician los grupos de investigación y ésta

es la forma: si es un doctor o un doctor reciente, puede presentar un proyecto que se ha apoyado por la *Fapeps* hasta cinco años, para el crecimiento de su grupo de investigación. Hay programas de investigación aplicada a la enseñanza, como el *Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas –Pipe–*, para trabajar con pequeñas y medianas empresas. Los investigadores de las universidades tienen que estar acoplados a las empresas, donde se pueden dar hasta 350.000 dólares para el desarrollo de una técnica especial o un producto especial que tiene contenido de innovación. Hay un programa sobre el genoma. Por ejemplo, Brasil, que es un gran productor de jugo de naranja, ha tenido muchos problemas con la *xylella fastidiosa* que producen los árboles de naranja. Esto fue totalmente solucionado con el estudio del genoma. Se trabaja también con empresas en el desarrollo de medicamentos para el cáncer, en el mejoramiento de la producción de caña de azúcar para que sea combustible. Tienen un programa de políticas públicas de libros, que cada año se abre para las universidades y otros. El programa que se hace con las empresas donde se exige que la propuesta tenga un contenido innovador y potencial comercial asociado a que la investigación resulte en competitividad para la compañía y que estimule a la formación de pequeñas empresas de gran contenido tecnológico. Las condiciones son que estos fondos no son reembolsables, hasta un máximo de 350.000 dólares por proyecto. Lo más interesante es que el sistema de *Fapeps* es muy poco utilizado para gastos internos; esto quiere decir que dentro del presupuesto, más del 95%, va para el desarrollo científico y tecnológico y solamente el 4,9% es utilizado para el funcionamiento del sistema.

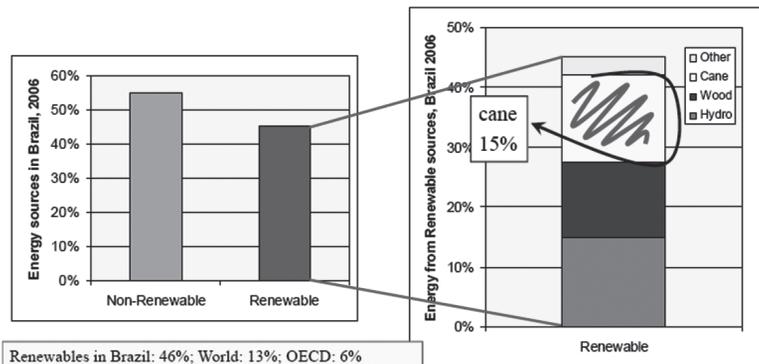
Algunos resultados recientes en investigación y desarrollo

He dicho cómo ha sido el crecimiento de las publicaciones científicas en el Brasil en los últimos 30 años, comparado con el mundo. Por ejemplo, tenemos un sistema electoral en el país que tiene 125 millones de votantes y podemos conocer el resultado de la elección mayoritaria en el mismo día. Brasil es hoy un país que tiene con la *Petrobras* la posibilidad de conocimiento para la explotación de petróleo en el mar hasta 3.000 metros de profundidad; tenemos la empresa de aviación *Embraer* que es muy competitiva mundialmente; el país pasó, con ayuda de proyectos de investigación, a ser el primer exportador mundial de carne, naranjas y otros productos; es el país que produce más etanol que no se compara con el etanol producido del maíz norteamericano aunque son cosas totalmente diferentes. Cuando se considera que nuestro etanol da un retorno del 1,43% contra el 0,90 hecho con maíz, se ve que las grandes campañas que las empresas petroleras hacen contra el bioetanol no tienen sentido.

Investigación y desarrollo: el fomento de la productividad
 - el caso del etanol de caña de azúcar¹⁰



En el gráfico de la derecha podemos ver la producción por hectárea: está creciendo de 1975 a 2005 cantidad de litros de bioetanol producidos. Sao Paulo es el mayor productor de autos de Brasil, con cerca de 17 billones de litros de etanol por año y una productividad creciendo a una tasa de 4% por año. Al mismo tiempo podemos ver la evolución del costo de la gasolina y el costo del etanol. Hoy son completamente competitivos. Cuando el programa pro alcohol, comenzó a fines del año setenta, el costo era el doble. Esto es resultado de la investigación. Podemos ver finalmente que Brasil es un país que, gracias a su geografía, tiene muchas hidroeléctricas; pero es un país que tiene en su matriz energética un 46% renovable, comparado con el 13% promedio del mundo y el 6% de la OECD¹¹. Se puede observar que la contribución de la caña de azúcar llega al 15% de la energía renovable producida en Brasil. Todo esto es el resultado de la investigación.



¹⁰ Innovation-in-Brazil.pptx; © C.H. Brito Cruz e Fapesp, en <http://www.ifi.unicamp.br/~brito>

¹¹ Organisation for Economic Cooperation and Development

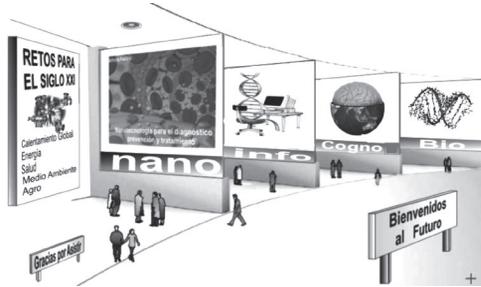
Tercera Conferencia

Ciencia e Ingeniería frente a los retos de la revolución nanoescalar

Edgar Emir González

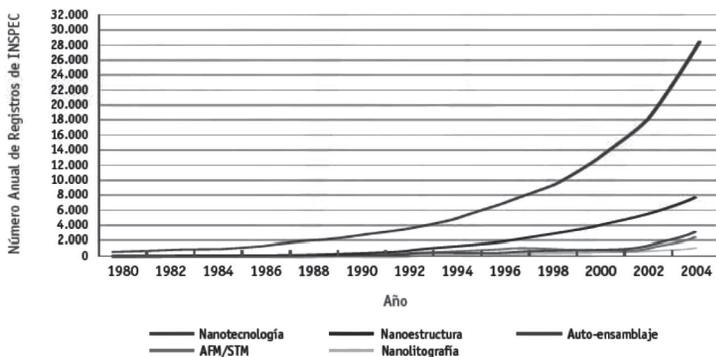
*Director Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar "nanocitec"
Coordinador General Programa Cáncer y Nanotecnología
y Profesor de la Pontificia Universidad Javeriana.*

La nanociencia y la nanotecnología se perfilan en la actualidad como una de las áreas de conocimiento de mayor impacto en la transformación de la sociedad que transita los comienzos del siglo XXI. Se percibe la fortaleza creciente del impacto que están jugando estas nuevas tecnologías emergentes alimentadas por los desarrollos que, desde las ciencias física, química, biológica y de la información, cristalizan en lo que podría considerarse como una revolución científica y tecnológica.



El número de publicaciones, patentes, laboratorios de investigación y compañías dedicadas a esta área del conocimiento da cuenta de su relevancia y posición estratégica en los planes de formación, investigación y desarrollo orientados desde la academia, el gobierno y la industria.

Evolución a lo largo del tiempo, del número de publicaciones en INSPEC sobre Nanotecnología y algunas de las áreas que comprende



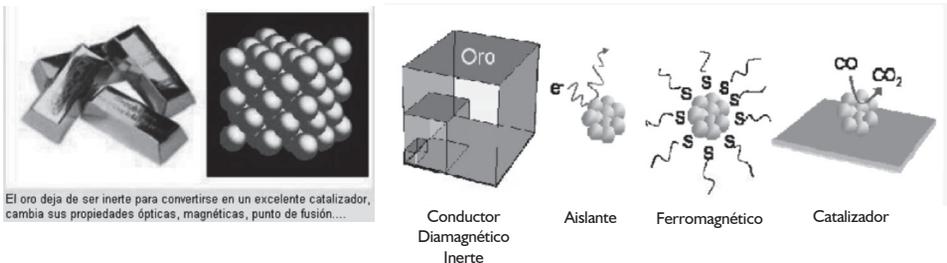
La nanociencia, involucrada en el estudio de la naturaleza a escala nanométrica, reaprendiendo de las teorías de la ciencia clásica y con el uso de las teorías relacionadas

con la fenomenología atómica y molecular así como con la extraordinaria capacidad instrumental heredada de la modernidad, está desplegando un imponente abanico de potenciales aplicaciones que afectarán drásticamente a nuestra sociedad basada en el conocimiento.

La complejidad e importancia de los problemas relacionados con la salud, medio ambiente, energía, sostenibilidad le plantean importantes retos a la ciencia e ingeniería¹². En este contexto, el estado actual de desarrollo en nanociencia muestra un panorama promisorio en cuanto al papel que puede jugar para enfrentar este tipo de desafíos, aunque sin desconocer los problemas que se pueden derivar del uso irresponsable y descuidado de los productos nanofabricados.

Nano hace referencia a escalas del orden de 10^{-9} m, para las cuales se hace significativo el comportamiento atómico y molecular. A este nivel, la materia y la energía presentan un comportamiento diferente al que usualmente conocemos. Así, por ejemplo, en materiales particulados con tamaños del orden de los nanómetros, las propiedades eléctricas, magnéticas, mecánicas, y térmicas, entre otras, resultan modificadas en función de la escala. El oro tal como lo conocemos a escala macroscópica, no es un material magnético, resulta inerte y es un buen conductor eléctrico. Sin embargo, cuando se trata de pequeñas partículas –del orden del nanómetro–, el oro presenta magnetismo a temperatura ambiente (igualmente ocurre con la plata y el cobre), aspecto que le confiere importantes aplicaciones tales como desarrollo de memorias magnéticas y sistemas para tratamiento en el área de la salud, entre otras.

De otra parte, a tamaño nanométrico, el oro (menos de 55 átomos) posee propiedades catalizadoras, aspecto de gran importancia práctica. Además del tamaño, la forma geométrica impone diferentes comportamientos. En nanoestructuras metálicas, la forma juega un papel fundamental en su comportamiento físico y químico. Partículas esféricas, cúbicas, tubulares, macizas o huecas poseen diferentes propiedades y comportamientos ante excitaciones térmicas, ópticas, eléctricas o mecánicas.



¹² En una convocatoria de la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, se recogen los 14 desafíos que enfrenta la ingeniería para el siglo XXI, inscritos dentro del marco de la sostenibilidad, salud, reducción de vulnerabilidad y calidad de vida

Descubrir, programar y aplicar las propiedades que ofrecen los materiales a escala nanométrica constituye uno de los objetivos centrales de investigación en gran parte de los laboratorios dedicados a investigación y desarrollo.

Un cuestionamiento muy frecuente se formula en términos de la posibilidad de investigar en nanociencia en Colombia, y las condiciones y recursos mínimos requeridos para realizar trabajos con resultados de impacto, así como acerca del papel de las facultades de ciencias e ingeniería en formación y creación de infraestructura para afrontar los retos impuestos por la revolución nanoescalar.

Un campo de gran impacto y motor estratégico de desarrollo, es la producción de nanomateriales (una de las áreas más activas de la nanociencia). La síntesis de nanoestructuras resulta muy accesible en infraestructura y producción, así como pertinente para investigación y desarrollo interdisciplinar en ciencias e ingeniería. Los resultados obtenidos son de gran calidad y pueden atender un amplio número de áreas de investigación: sensores, nanomedicina, electrónica, industria textil y de la construcción, agro, medio ambiente, energía, etc... La fenomenología, el trabajo teórico, experimental y computacional se nutre sustancialmente. Un gran número de reportes de alto impacto se vienen realizando sobre la producción, funcionalización, caracterización y aplicación de nanoestructuras. Este trabajo resulta inútil sin la fase de caracterización, la cual requiere desafortunadamente el uso de equipos de alto costo. Es en esta dirección en lo que se requiere aunar esfuerzos entre las diferentes instituciones académicas del país, para coordinar la inversión conjunta para la adquisición de equipos de caracterización, así como la prestación adecuada de mantenimiento y servicios con cobertura y eficiencia.

Se hace urgente implementar la formación en pregrado y posgrado en nanociencia y nanotecnología. Se requiere la modernización y adecuación de algunas áreas del conocimiento e implementación en otras, junto con la producción de textos con la orientación y contenido adecuados. Ya estamos trabajando con el Grupo de Investigación de Nanopartículas del *Institut Català de Nanotecnologia* (ICN) en la elaboración de material para formación en posgrado en el área de nanoestructuras, producción, propiedades, caracterización y aplicaciones.

De otra parte, se hace necesario incrementar en ingeniería la formación en química, biología, ciencia de fluidos y ciencia coloidal, áreas del conocimiento que, junto con las ciencias físicas y matemáticas, se están convirtiendo en fundamentales para una formación básica competente frente a los retos impuestos por la revolución nanoescalar.

Cuarta Conferencia

Los retos del desarrollo tecnológico y la transferencia a la industria por la academia

Rakesh Kumar Soni

*Director y Profesor del Departamento de Química
de la Chaudhary Charan Singh University.*

El desarrollo tecnológico y su transferencia a la industria a través de la academia, no es un tema nuevo. Sin embargo no se ha destacado lo suficiente en el ámbito internacional. Para iniciar, haré algunos comentarios acerca de la **Chaudhary Charan Singh University**, que está ubicada en una pequeña ciudad localizada a 70 km de New Delhi, capital de la India. Es una de las más grandes universidades de la India, con alrededor de 3.000 estudiantes y compuesta por 150 facultades asociadas a esta universidad. Cada una de estas facultades ofrece programas de maestría y de investigación.

Hablando sobre el tema de transferencia tecnológica a través de la academia, digamos que es totalmente posible hacerlo. Esto supone que la industria debe encargarse de investigaciones básicas y debe participar en desarrollo tecnológico. Al mismo tiempo, la academia deberá jugar un papel importante resolviendo problemas de la industria. La habilidad que tiene la industria, en ocasiones, para resolver problemas, puede ser un espacio de inclusión para las investigaciones de la academia, la cual puede ayudar en el mejoramiento de los procesos de control de calidad. ¿Cuáles son las expectativas de la industria? Casi siempre las industrias están interesadas en el desarrollo, interesadas en la tecnología, y una gran parte de ellas apunta a las experiencias de laboratorio. Desean tomar tecnología de cualquier lado, con tal de que sea buena, para sus propios proyectos. De otro lado, la pequeña industria no tiene demasiados recursos. La industria también espera tener una mejoría tecnológica con innovaciones, modificaciones, y con la adopción de mejores procesos de implementación tecnológica. Esto indica que las necesidades de la industria están orientadas principalmente a la resolución de problemas en el área de diseño tecnológico, planes de mejora tecnológica y planes de mejoramiento de maquinaria en su sector. Las otras expectativas tienen que ver con el *reversing engineering*¹³. Esto significa que, a los productos que ya existen, se les buscan formas de mejorarlos y repotenciarlos para obtener mejores beneficios. Más que simplemente copiarlos, la industria desea nuevas especificaciones técnicas.

¹³ Proceso de descubrir los principios tecnológicos de un dispositivo, objeto o sistema por análisis de su estructura, función y operación. A menudo consiste en tomar algo (por ejemplo, un dispositivo mecánico, componentes electrónicos o software) y analizar su funcionamiento en detalle para ser utilizados en el mantenimiento, o para tratar de hacer un nuevo dispositivo o programa que haga lo mismo sin la utilización de cualquier parte física del original. http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_engineering Consultado el 3 de febrero de 2010.

Por otro lado, la pequeña industria trata de crear nuevos productos específicos y, al tiempo, convertirse en mediana o en gran industria. Pero estas industrias no tienen ni han tenido muchas de las facilidades de desarrollo en este campo. Entonces, en este caso, su expectativa es buscar una forma de mejorar sus productos para el control de calidad, para ir en busca de eficiencia. En síntesis, vemos que las expectativas son siempre: la búsqueda de soluciones.

Aspiraciones de la academia y de la industria

En realidad, las aspiraciones de la academia son diferentes de las que tiene la industria. Las de la academia están relacionadas con la búsqueda de nuevos retos intelectuales. Los académicos no están interesados en cómo ven las empresas el desarrollo de tecnología; ellos quieren hacer más investigación, quieren crear conocimiento, tienen una fuerte preferencia por todo aquello que sea crear conocimiento en áreas específicas que ellos dominen. La academia está interesada en la multidimensionalidad de un problema y tiende a explorar una variedad de posibilidades para llegar a la solución. Tal actividad consume tiempo y esfuerzo, y el éxito no está garantizado. La mayoría de los académicos no quiere ir en busca del desarrollo tecnológico. Las diferencias existentes entre las necesidades de la academia y las aspiraciones de la industria son considerablemente grandes, y existe un fuerte sentimiento, en el círculo académico, que es improbable que se introduzca en la industria. Si es así, se desarrollarían actividades con un limitado espacio de exploración e investigación. Pero este sentimiento no es verdadero: se deben desarrollar estrategias para derrotar esta idea, ya que este tipo de trabajo conjunto entre las dos requiere de un extenso campo de investigación académico, que es muy interesante.

El otro problema está relacionado con el tiempo, ya que la industria espera resultados inmediatos, en tanto la academia no está lista para enfrentar este requerimiento. La industria espera tecnología moderna y bien desarrollada, lo cual es difícil de hacer con poco tiempo por parte de los académicos. Para la academia, el concepto de desarrollo tecnológico es diferente. Para ellos se divide y compone de conceptualización, ejecución y validación; mientras que la industria, en la mayoría de los casos, está interesada en copiar el producto, no en analizarlo o ir a buscar un diseño original.

Los retos del futuro están generados por la globalización. Los industriales necesitan la ayuda de la academia con el objetivo de mantener un mejor desarrollo y establecer mejores procesos de competencia. Las pequeñas y medianas empresas deberán comprometerse con este rol, pues están el comercio competitivo y para ser aceptables necesitan de la ayuda de la academia. Este sector de la industria necesita de la

incursión tecnológica de la academia, en algunas áreas inciertas identificadas, lo cual hace evidente la importancia de llegar a involucrar a la academia y a la industria en los procesos de desarrollo tecnológico.

Las exigencias del mercado global están obligando a reforzar la industria, involucrando esfuerzos de manera general. La industria necesita de la investigación y la academia puede aportar tal habilidad, si se le permite centrarse en investigaciones básicas de alto nivel aplicativo. Dichas investigaciones inicialmente involucran a la industria a través de programas formales o cursos de instrucción flexible que apunten a ese objetivo. Es necesario crear una unión entre la academia y la industria, que permita enfrentar los problemas que pueda presentar el desarrollo tecnológico, empezando por la conceptualización antes que por la comercialización. La academia debería estar interesada en desarrollar tecnología. En síntesis, los ingenieros tendrían que ayudar a la industria desde la conceptualización hasta completar la comercialización. La nueva tecnología exige esencialmente ser incluida en las facultades y en las universidades, para tomar fuerza. La unión de tecnología y academia puede ser alcanzada a través de la ciencia, de modo que las tecnologías sean fruto de la colaboración para hacer investigaciones responsables, a través de un acuerdo que lleve el ejercicio investigativo hasta el punto de ser consumado.

Etapas para el desarrollo tecnológico

En las etapas de un desarrollo tecnológico hay dos categorías: uno para las tecnologías avanzadas y el otro para las “empresas bio”, que requiere la aprobación de la *Food and Drug Administration* –FDA– o autoridades reguladoras. Así que al plantear tesis acerca del desarrollo tecnológico se hace de acuerdo con los siguientes requerimientos:

- Prueba de concepto. Esta es la etapa inicial de comercialización. El desarrollo en esta etapa consiste en tomar una idea y realizar investigaciones suficientes para demostrar que la idea es factible y se puede trabajar.
- Reducción de la práctica / prototipo. En esta etapa de desarrollo se construye un modelo de trabajo (prototipo). Si la tecnología es un proceso y no un producto tangible, el desarrollo de la tecnología implica pasar a la etapa de un modelo de trabajo.
- Pre-pruebas de productos. Implica una serie de experimentos y modificaciones en el prototipo a desarrollar para aplicaciones comerciales.
- Prueba Alfa. Es el primer paso en la fase de comercialización de desarrollo del producto. Es la fase de pruebas internas del producto comercial.
- Prueba Beta. Esta es una etapa crítica en la comercialización. En ella la empresa hace pruebas de su producto con los usuarios finales.

- Preventa de productos comerciales. La compañía está vendiendo productos de calidad beta, o no comerciales, a los clientes, para pruebas o para fines de investigación y desarrollo solamente.
- Aumento de la escala de Producción / Diseño de Producción / Manufactura. La compañía tiene su plataforma para la producción comercial. Se podría incluir la ampliación progresiva de los materiales, la planificación del diseño de producción o de fabricación real del producto.
- Lanzamiento comercial de productos y ventas. El producto de calidad comercial se introduce en el mercado para la venta y se generan los ingresos.

En el caso de compañías biotécnicas se requiere de la aprobación de resultados. Los pasos a seguir son:

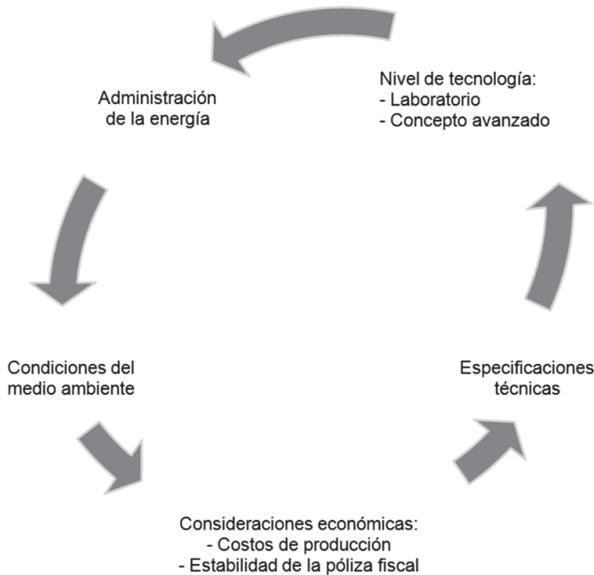
- Formular el concepto;
- Hacer el prototipo; pruebas de preproducción;
- Pruebas con animales;
- Prueba clínica. Dichas pruebas clínicas pueden tener diferentes pasos, dependiendo de los requerimientos de su producto;
- prueba de la FDA. Si esta prueba también es satisfactoria, se puede pasar a la etapa de comercialización y de ventas.

Tipos de tecnología

1. *Bleeding Edge*. Es cualquier tecnología que muestra un gran potencial, pero no ha demostrado su valor; la cual mal implementada, falla. Por eso debe tenerse cuidado con la tecnología que se escoge.
2. *Leading Edge*. Se trata de una tecnología que ha demostrado su valor en el mercado, pero todavía es bastante nueva, de modo que puede ser difícil encontrar personal capacitado para realizarla.
3. *State of the Art*. Todo el mundo está de acuerdo en que esa tecnología particular es la solución correcta, convirtiéndose en mayor tecnología (*Mature Technology*).
4. *Dated*. Siendo útil, incluso a veces en práctica, no es una sustitución de tecnología de punta que está fácilmente disponible.
5. *Obsolete*. Ha sido sustituida por el estado de la tecnología de punta, y ya no en práctica. Es el resultado del final de la tecnología número 3 (*State of the Art*) y que luego ya no es implementada.

Estos son algunos de los usos que deben ser considerados para el desarrollo tecnológico y su transferencia:

Algunos usos del desarrollo tecnológico y su transferencia



Se revisan las especificaciones técnicas de la industria para el producto que se quiere desarrollar. Después se debe analizar en el laboratorio, qué especificaciones técnicas cumple y cuáles no. A continuación se debe revisar la energía requerida y los requerimientos acerca del uso de la misma. Es necesario considerar las condiciones medio ambientales, pues si no lo hacen, probablemente su tecnología va a fallar. Después deberán hacerse las consideraciones económicas. Éstas deben tratar los costos de producción y el valor de la póliza fiscal. Estos son aspectos difíciles para entender por el sector académico; por tanto se necesita la asesoría de la industria. Si este proceso está completo, podemos ir al siguiente paso; en caso contrario es necesario, hacer otro recorrido.

Revisemos las consideraciones ambientales. Deben tener en cuenta el manejo de desperdicios, como algo importante. Encontrarán que hay dos clases de uso de los desperdicios: uno básico y otro global. Debemos resaltar que en algunos países existe legislación para que las compañías controlen los desperdicios que producen. Para los usos básicos, es necesario tener presente que una solución podría ser crear un círculo de reciclaje, más las consideraciones que ustedes tengan para ello en mente. Después, se deben decidir los procesos y cómo van a disponer de los residuos obtenidos durante la producción. De otro lado, cómo van a buscar reducir la producción de desechos.

La forma que debe tener en cuenta de manejar los residuos, reciclarlos o reusarlos. Es importante disminuir la producción de residuos y producir mínimamente residuos químicos tóxicos. Se debe pensar en cómo lograr que el producto esté libre o reduzca gradualmente residuos tales como el plomo u otros. Finalmente, los dispositivos de control de contaminación deben ser operados buscando un mínimo costo. Teniendo en cuenta las consideraciones ambientales, otros usos se refieren a los usos globales. Los tenidos en cuenta por las naciones son:

- La generación y uso de gases de invernadero.
- El nivel de desmonte del uso de gases de invernadero.

Respecto del manejo de la energía:

- Se requiere que la energía producida en una sección sea usada en otra sección.
- Se requiere un mínimo uso de energía en la preparación del producto o de sus partes.
- En otros casos, se deben crear conductos de regulación de estos requerimientos.

Algunos de nuestros ejemplos

Algunas de las tecnologías que están siendo desarrolladas por nuestro departamento son las siguientes:

- Películas biodegradables.
- Polímeros y productos químicos suaves usados para la producción de PVC, estabilizador térmico libre de plomo para el PVC.
- Agentes anti hongos.
- Resinas de fotocurado.

Estamos creando nuevos sistemas y nuevas tecnologías. Aquí pretendemos darles una idea de cómo crear nuevas tecnologías, y de cómo hacerse el desarrollo tecnológico y su transferencia.

- Parte de nuestro desarrollo tecnológico ya aplicado es la creación de una película de polímero biodegradable. Hemos sintetizado algunos de los componentes de la película, también sintetizamos una nueva resina, mediante reacción cinética eléctrica, y convertimos algunos acrílicos, a partir de una película normal, en una película sintética biodegradable. Preparamos también un caucho biodegradable. Este es un producto muy usado. Hemos desarrollado una resina, y la hemos mezclado con el caucho.

Hojas de caucho biodegradable



La primera imagen de la gráfica es el caucho; en la segunda imagen el caucho en su proceso de degradación con la resina; y, finalmente, la tercera imagen el caucho después de la degradación hecha por los hongos.

- Hemos preparado nanopartículas para ser usadas en películas de fotocurado. Estas nanopartículas de TiO_2 fueron preparadas para descomponer las películas de fotocurado a 550 grados Celsius por 5 horas. La eficiencia de este proceso es muy baja: 1 kg de nanopartículas de TiO_2 puede obtenerse por la descomposición de 1.6 kg de acrílico fólmico. Se ve que no es económico. Esta clase de tecnología puede ser utilizada para altos propósitos, en algunos campos muy especializados que lo requieran.

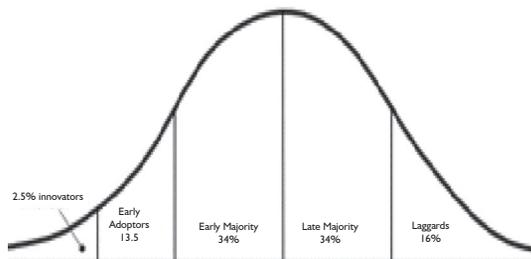
Transferencia de tecnología

Dependiendo del sector económico y del producto, hay que predecir cuándo es el mejor momento de transferir o implementar la tecnología.

Estados de adopción de la tecnología desde diferentes sectores. Veamos el tiempo de adopción por sector:

- Productos de consumo: innovación y adopción temprana
- Productos de ingeniería: Temprano la mayoría.
- Productos farmacéuticos: temprano la mayoría.
- Manejo de residuos: tarde la mayoría.
- Productos de alto avance: tarde la mayoría

Tiempos de adopción de tecnología en diferentes sectores



Si ustedes han desarrollado tecnología y la quieren transferir, deben dar rápidamente todos los detalles a la industria y solicitar que la aplique. También es necesario que las industrias participen en el análisis, para saber si habrá problemas. Si la tecnología es maquinaria, deben realizar un análisis y buscar una certificación. Después, si su proyecto fue aceptado por la compañía, deben ir a las investigaciones de mercado y, finalmente, si ya se han dado todos estos pasos, pueden empezar el desarrollo de estas en sociedad. La sociedad debe ser respaldada por “un acuerdo de soporte” que debe contener:

- La legislación para la tecnología de transferencia.
- Los mecanismos para la transferencia de la tecnología, en los cuales deben aclarar su rol en el manejo financiero de la misma y al tiempo explicar la capacidad de riesgo.

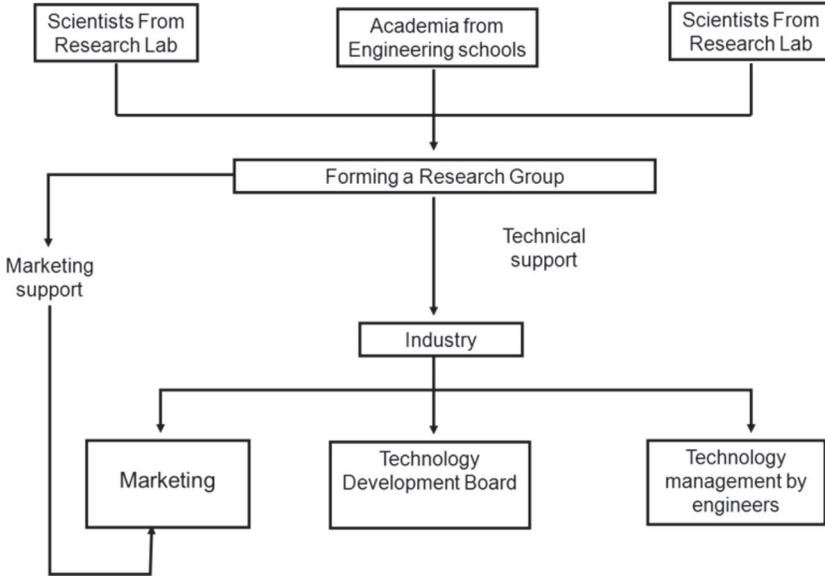
El asumir la capacidad de riesgo varía en las diferentes industrias. En el caso de pequeños negocios, durante la transferencia tecnológica, no hay ningún soporte por parte de la industria. En el caso de medianos negocios, quizá obtengan algo de respaldo de la industria, pero no mucho. En el caso de transferencia tecnológica en negocios de gran escala, tendrán toda clase de respaldo por parte de la industria. En el caso de los pequeños negocios, la capacidad de riesgo es muy baja, así como también lo es la asistencia para estos riesgos. En el caso de medianos negocios, la capacidad de riesgo es baja y la asistencia frente al riesgo puede ser amplia. Para el caso de grandes negocios, tanto la capacidad de riesgo como la asistencia del mismo son muy altas. En el desarrollo de tecnología es posible pasar de pequeños negocios a realizar grandes negocios: les aseguro que sí es posible. Estos aspectos pueden resumirse en la siguiente tabla:

Kind of Industry	Risk bearing Capacity	Risk Bearing Assistance Required	Output
Small business	Very low	Low	Medium-large
Medium business	Low	Large	Large
Large business	Medium	Very large	Very large

El campo financiero debe ser manejado por la industria y quizá ellos busquen *outsourcing* o busquen la ayuda de instituciones financieras. En la mayoría de los países, las obligaciones del desarrollo tecnológico son establecidas por el gobierno, pero con el soporte de la industria. Ésta establece un plan comercial de unión con diferentes sectores para mejorar así la capacidad de riesgo, es decir disminuirla.

Transferencia tecnológica y manejo de mercado

Modelo de desarrollo y transferencia de tecnología



La primera fase involucra el diseño, la instalación y encargo de la maquinaria. La segunda fase supone la producción y las ventas del producto. En la tercera fase, la transferencia de la tecnología debe proveer esencialmente entrenamiento y el soporte técnico para el mercadeo de los productos. Los científicos del laboratorio y las academias de ingeniería deben trabajar juntos y crear un grupo de investigación. Los científicos deben probar un concepto, los científicos lo desarrollan muy bien y, después de la pruebas del concepto, los ingenieros podrán hacer su trabajo mucho mejor. Si ustedes fundan un grupo juntos y trabajan en equipo, el proceso de desarrollo tecnológico y su transferencia será muy sencillo. Este equipo encontrará el respaldo técnico para la industria, y la industria a su vez irá en busca de los procesos de mercado y demanda tecnológica. Al mismo tiempo, ellos pueden tomar ayuda para el desarrollo de la tecnología de otros sectores. Finalmente deben ser ustedes los proveedores del soporte técnico al mercadeo del producto.

Conclusiones

Pueden plantearse las siguientes conclusiones:

- La industria, en Colombia, debe estar centrada en el desarrollo tecnológico, en elaborar modelos que puedan ser convertidos en procesos válidos y comerciales.

- La academia y la industria deben trabajar juntas en el desarrollo de tecnologías y en el avance de las ciencias. Debe ser éste el gran reto que se les ofrece a la academia y a la industria: deben realizar acuerdos en metas y opiniones.
- La academia, los científicos y los ingenieros deben comprometerse unos y otros en el desarrollo tecnológico y este debe estar en manos de todos y ser investigado y desarrollado en grupo.
- El primer reto del desarrollo es económico y social. Se deben establecer reuniones entre la academia y la industria para desarrollar especificaciones técnicas acerca del desarrollo tecnológico.
- La tecnología debe estar en el espacio y en el tiempo correctos. Es el gran reto: la tecnología debe tener sus primeras visiones en universidades y en organizaciones de investigación. La capacidad de investigar debe ir unida al esfuerzo conjunto entre industria y academia.

Quinta Conferencia

El desarrollo sostenible, un reto PARA la ingeniería

Goran Wall

Profesor asociado de Chalmers University of Technology, Sweden

Miembro del Comité UNESCO-EOLSS.

En la caricatura, un científico, como conclusión final de su investigación, trata de expresar que algo anda mal: “Estamos destruyendo la tierra”. Sin embargo, dos hombres se dirigen al científico: “podría usted, amablemente, referirse de manera inequívoca y exacta a este asunto, ya que usó términos que no entendemos”

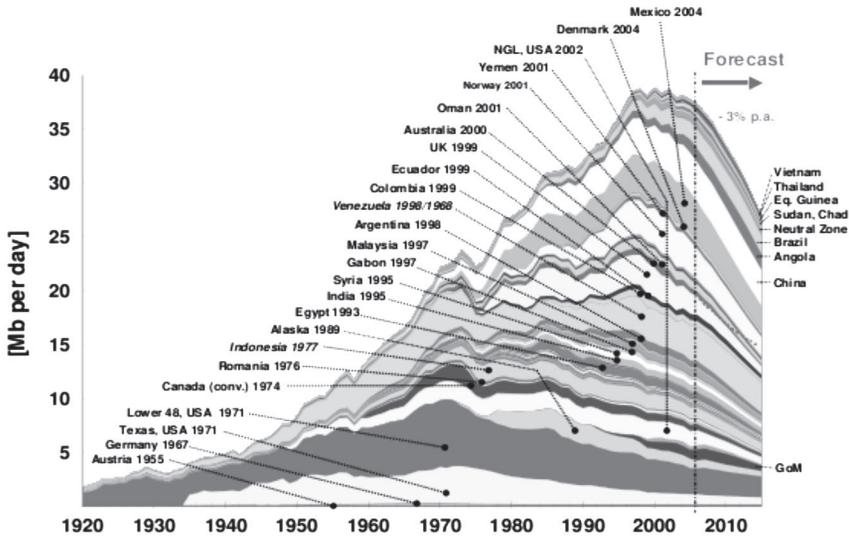


Con esta simple caricatura quiero mostrar el presente de la ciencia y la experiencia de muchos científicos. Acerca de este tema ha escrito David Goodstein: *In a world rapidly running out of fossil fuel, the second law of thermodynamics may well turn out to be the central scientific truth of the twenty-first century*¹⁴. Hace referencia a la realidad científica del siglo XXI,

pues nosotros llevamos casi una década en este siglo y no hemos visto mucho acerca de esto. No obstante, yo hoy traigo fuertes razones. Nosotros debemos hacer un buen uso de la ciencia. Los economistas aún están actuando como si esto fueran recursos menos importantes; sin embargo, las condiciones físicas muestran algo completamente diferente.

La producción de petróleo en el mundo, como se observa en la gráfica, está llegando más o menos a un tope alto de producción. El punto de producción más alto de Colombia corresponde a 1999; hace 10 años hasta ahora ha estado declinando, ha tenido poco crecimiento. Estas son consecuencias físicas de que nosotros vivamos ya en un 59% del planeta. Si nosotros hacemos uso exagerado de estos recursos que se están agotando, evidentemente se agotarán.

¹⁴ Goodstein D. Nature, Vol. 368, 14 April, 1994, p. 598. Department of Physics, California Institute of Technology, Pasadena, California .

Producción de petróleo en el mundo¹⁵

Conceptos básicos de física

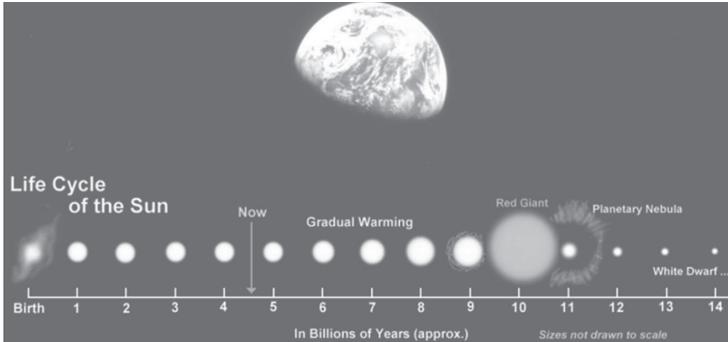
Todo el mundo sabe qué es la energía. Pero nadie puede explicar de manera clara qué es la energía, porque en realidad nadie lo sabe. Sin embargo la energía tiene un lindo significado que viene del griego, *en* que significa interno, junto con *ergos* que significa trabajo. Energía significaría entonces trabajo interno. De acuerdo a esto, trabajo externo significaría *exergy*.

El inconveniente aquí es entender cómo puede faltar energía y a la vez conservarse parte de la misma. Esto es una clase de malentendido, tal vez porque utilizamos palabras que no tienen el correcto significado para definir algunas cosas. Aquí es donde el concepto de *exergy* se necesita, porque es una forma específica de movimiento muy organizada. Para algunos es una parte importante de lo que llamamos trabajo, pero no lo es. Aunque compleja, esta es una forma precisa de definición: *“todo lo que sucede involucra necesariamente destrucción de energía”*. Indica que, en el caso de la energía, nosotros tenemos una situación balanceada; en el caso de la *exergy*, en el mundo real, nosotros nunca tendremos una relación de balance. Es algo con lo que debemos tener mucho cuidado.

¹⁵ Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2007. Fuente: IHS 2006; PEMEX, Petrobras; NPD, DTI, ENS(Dk), NEB, RRC, US-EIA, January 2007. Pronóstico: LBST estimate, 25 January 2007. http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG_Oilreport_Summary_I0-2007.pdf

Factores físicos básicos¹⁶

Our utmost phisycal condition



El sistema solar surgió hace 4.500 millones de años aproximadamente. Su ciclo muestra las diferentes formas del sol. Podemos imaginar que el sol ha brillado miles de años; sin embargo, dentro de 5.000 millones de años va a absorber todos los planetas y por el intenso calor que se generará a su alrededor se va a evaporar. Esta es sólo una perspectiva: no es algo que tengamos que considerar todas las mañanas al despertarnos. Pero, al menos, les da una idea de que nosotros no podemos hacer nada, porque éste es un proceso cíclico y nuestro sistema solar tiene que pasar a una segunda generación. Todos los materiales que constituyen lo que hay en este planeta, todo lo que somos, todo lo que nos rodea, es parte del sistema solar, de un sistema solar previo al existente. Las estrellas, todas, pasan por este ciclo y se convierten en supernovas y estallan. Nuestro sol sufrirá dichos cambios en algunos millones de años. Nuestro problema en realidad es más cercano: ¿cómo manejar este lugar, nuestro planeta? Tenemos que hacerlo, pero no tenemos un manual como el que obtenemos al comprar equipos o electrodomésticos, el cual nos permite manejarlos fácilmente. En este caso, no nos fue dado; tenemos que hacerlo por nosotros mismos y no hemos pensado en un manual exitoso. De hecho, hacemos todo lo opuesto.

Durante nuestros estudios, ustedes y yo hemos aprendido muchas cosas. Pero se darán cuenta de lo poco que saben actualmente y lo poco que han entendido del funcionamiento de la tierra: “nada puede describir mejor la naturaleza que la naturaleza misma”. No crean que ustedes podrían crear una imagen o un modelo de la naturaleza que la explique totalmente. La naturaleza es de lejos más inteligente que cualquier cosa, que cualquier ser humano: no es un sistema muerto, es un sistema vivo. Desafortunadamente, toda la ciencia, y particularmente la ingeniería, están dedicadas a estudiar tan sólo las estructuras. Yo esperarí que ustedes, como ingenieros profesionales, no hagan eso.

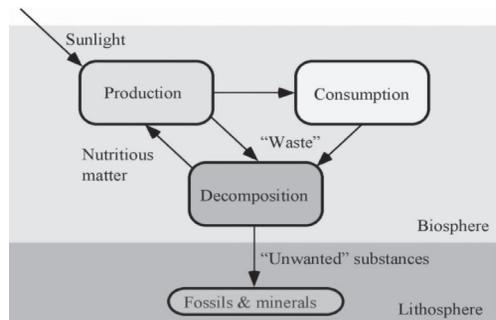
¹⁶ G. Wall, “Exergy and Sustainable Development”, draft report 36 p., 2005. <http://www.exergy.se/ftp/easd.pdf>.

Los ingenieros son expertos en describir cómo operan las máquinas, pero si no pueden hacer esto con un sistema vivo están perdidos. Aquí tenemos algo que hacer frente a esta área de la educación en ingeniería, porque si continuamos educando ingenieros profesionales que trabajan sin entender el sistema de la naturaleza, no crearán nada en esta área. Ahora vamos a ver algo sencillo acerca del misterio de la vida, porque esto es algo que nunca terminaremos de entender: no existe ningún ser humano que no piense, en algún momento de su vida, en respetar la naturaleza y en respetarnos nosotros mismos como seres humanos.

Ingeniería natural

Vamos a dar una mirada al modo como la naturaleza opera de acuerdo a estas condiciones antes expuestas. Estas condiciones probablemente fueron dadas por algo o alguien: Dios, Alá o por aquel en el que ustedes crean, quizás por la naturaleza misma. Lo importante es saber cómo lo ha manejado la naturaleza. En primer lugar, tenemos un sistema de producción en el cual el sol está directamente implicado en la generación de materia que después es usada por los organismos como nosotros; así nos convertimos en consumidores. Todos estos organismos que constituyen este ciclo de la vida, consumimos y a la vez producimos “desperdicios”. Escribí desperdicios entre comillas porque este término no existe en la naturaleza; éste es un concepto creado, usado, manejado tan sólo por los humanos; sólo los humanos hacemos desperdicios. Los indígenas no generan desperdicio: usan todo, respetan la tierra. De modo que tenemos un sistema de descomposición y debemos cuidar bien de él, porque es el que se hace cargo de todos los desperdicios producidos. Dichos desperdicios están felices con hongos, bacterias, microorganismos y todo aquello que se puede encontrar en el suelo. En realidad, existe una gran cantidad de biomasa en la naturaleza que es la parte más grande del suelo y del mar. Esto representa la evolución natural: toda la naturaleza tiene estabilidad, nunca usa trucos. Este esquema de descomposición es la clave del porqué los seres humanos han sido exitosos sobre todas las otras formas de vida. Esta es la actividad esencial que está operando hoy en la naturaleza. Desafortunadamente, la mayoría de los ingenieros duda y entiende poco de este sistema y, en últimas, nos negamos la oportunidad de descubrir el verdadero desarrollo.

Las sustancias no deseadas que están descritas en la siguiente imagen y que son muy importantes para la evolución de la naturaleza, nos muestran cómo la *exergy* y los depósitos de minerales de la corteza de la tierra son importantes para crear condiciones vitales de energía. A esto se le llama *capital exergy* o *energía externa*.



La vida es la organización de la materia, materia que también se constituyó en seres humanos, de la misma que es posible encontrarla en el suelo. Si se le mezcla agua, tendrán todos los ingredientes necesarios para crear un ser humano. La naturaleza, después, desarrolló la habilidad de pensar. Este fue un proceso gradual, no solo los humanos tienen esta habilidad; de manera más simple, otras formas de vida también la tienen. No trabajan como los seres humanos, que pueden crear lo que necesitan, comunicarse, inventar herramientas, usar las manos y con esto la habilidad de trabajar y comunicarse. No obstante, no somos tan únicos frente a los animales. Si vemos lo que la naturaleza ha estado haciendo para producir todo esto en todo este tiempo, su forma de ir adelante y mejorar, vemos un proceso acelerado. Los dinosaurios son muestra de ello y ahora son fósiles. Se plantea entonces la curiosidad de saber qué pasará en los próximos 2.000 millones de años. Ningún ser humano podría imaginar eso, porque esto es tan difícil para nosotros, como para la materia darse cuenta de qué es un ser humano. Hablamos de inteligencia al más alto nivel, lo que reduce al ser humano al papel de bacterias, comparado con la vida futura. Así que no debemos enorgullecernos tanto con nuestras habilidades, pues en últimas somos simples bacterias, en esta perspectiva de cómo la naturaleza está trabajando.

Ingeniería social

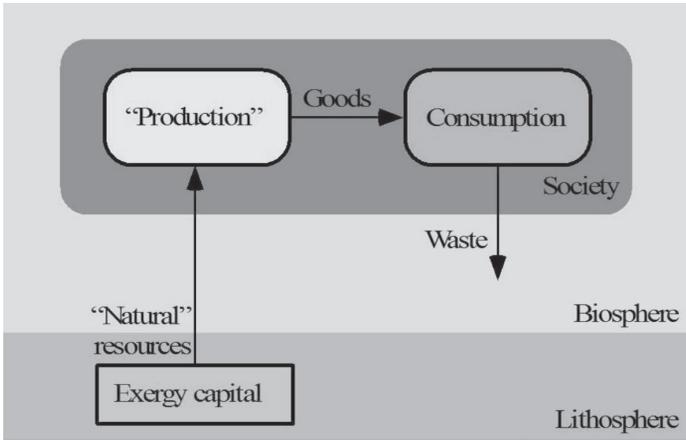
El mundo es naturaleza y la naturaleza es ingeniería: esta es una simple forma de describir lo que es esta materia. La siguiente imagen, tomada por la NASA¹⁷, muestra que tan iluminada es nuestra sociedad.

La tierra en la noche



¹⁷ Earth at night. <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>; consultado 02/02/2010

Esta es la forma como funciona la ingeniería social:

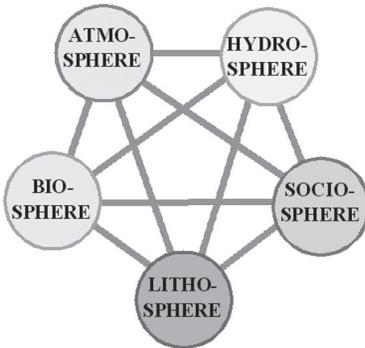


Vemos como la *capital exergy* es un recurso natural que, de alguna manera, los seres humanos pensamos que somos nosotros quienes producimos esos recursos naturales. Esta es una invención nuestra. Por ejemplo, decimos que producimos petróleo; eso no es producción nosotros; solamente lo tomamos de algún lado y lo usamos. Ven como nosotros creamos una serie de creencias erróneas acerca de lo que en realidad hacemos con los recursos naturales. El sector de la producción siempre está en movimiento. En el medio ambiente se producen constantemente sustancias buenas; luego se consumen sin dejar residuos, mientras que nosotros, como sociedad, siempre producimos desperdicios. Entonces como contraste, podemos ver que la ingeniería de la sociedad no siempre crea basura, pero mucha de la tecnología se convierte en basura. En últimas, este es resultado de la tecnología: la producción de desperdicios.

Por supuesto, la naturaleza no trabaja así. La ingeniería social explora y destruye la capital exergy de una manera insostenible, que produce consecuencias graves: una catástrofe ecológica. Si lo analizamos bien, éste es un resultado obvio. Pueden ir ustedes a algunos lugares de África, donde es enviada por Europa toda la basura producida por la tecnología, y pueden darse cuenta de esto. Desde hace un tiempo, nos hemos concentrado en la producción global de esta especie de materiales. Es posible ver las consecuencias que trae esto. Éste es otro problema en el cual debemos involucrarnos desde la ingeniería. Viendo cómo están siendo usados los recursos en países como Suecia, donde los recursos, como los forestales y otros, son formados por la naturaleza y otros recursos como los combustibles, la energía nuclear, han sido convertidos en las cosas que los consumidores necesitan, como transporte y comida, denominados *inputs*. Con lo anterior se puede resumir todo el *output*. Éste es tan solo un sistema de abastecimiento técnico, dirigido a cubrir las necesidades del consumidor. Porque

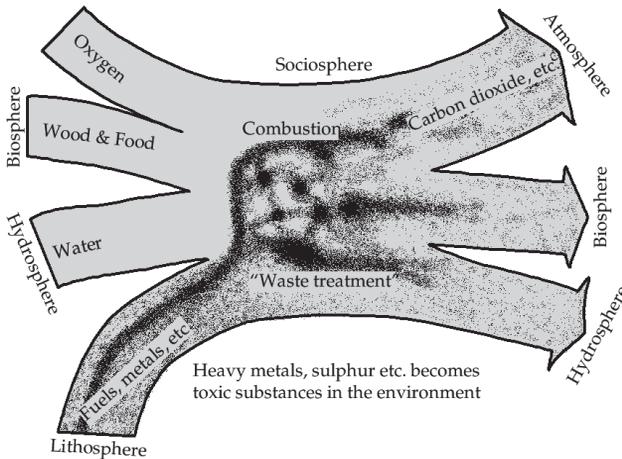
ellos no necesitan petróleo, necesitan transporte, químicos cosas así; ellos necesitan ser abastecidos. Así que pueden ustedes resumir qué utilizan para sus vidas, con los recursos que gastan en este proceso.

Ésta es una simple forma de describir las actividades en la tierra. Pueden dividir las, en atmosfera, hidrosfera, sociosfera, litosfera y biosfera. Este es un modelo muy simple.



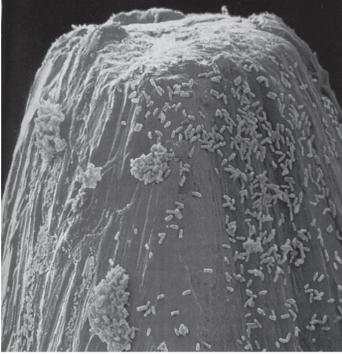
A la sociedad moderna le atañe entender esto. Las personas que hicieron este modelo proponen la tierra como cinco esferas en mutua interacción. La ingeniería y la civilización modernas pertenecen también a los recursos, no solo las máquinas. Los recursos mostrados son extraídos, como metales y otras sustancias de la litosfera. Esas sustancias que la naturaleza naturalmente puso lejos del ambiente, están siendo ahora distribuidas. Es decir, dichas sustancias entran, no podrán ser controladas, se mezclan con aire en la atmósfera,

la biosfera y la hidrosfera y se convertirán en parte del medio ambiente. Es terrible ver como nuestro ambiente está cada vez más contaminado y tóxico, año tras año.



Responsabilidad natural

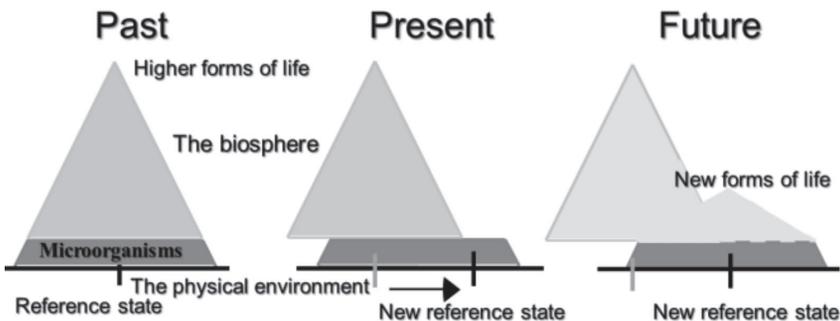
En la imagen ven miles de bacterias en la cabeza de una aguja. Tomemos una de estas imágenes y observémosla durante algunos minutos.



¿Cuántas bacterias tenemos? ¿Qué pasa? Se dividen, y cada bacteria se convierte en dos idénticas, y así sucesivamente. Imagínense. Las ponemos en la cabeza de una aguja y empieza a crecer en número. Las ponemos en otra parte y ¿cuántas creen que habrá en dos semanas? Muchas, millones, ¿Llenarán un salón? Su número será muy grande. Esto demuestra el poder de la vida. Sólo trato de darles ideas acerca de cómo la vida se abre camino a pesar de que haya limitaciones. Estas bacterias pueden ser alrededor de 2 ó 3 kilogramos en nuestro sistema digestivo. Pero

sin ellas, todo lo que comemos pasaría derecho. Las bacterias son nuestras mejores amigas, créanlo. Pueden ver el poder que tienen. El problema es que estamos cambiando el medio ambiente físico, porque estos microorganismos se reproducen por cientos. En un día se obtienen miles de generaciones y habrá mutaciones. Entonces, si se cambian las condiciones físicas, no tendremos hoy bacterias iguales a las de ayer. Estas desarrollarán habilidades para adaptarse a los nuevos cambios. Eso es lo que yo creo que sucede pasa en cualquier lugar del universo; porque están buscando la forma de sobrevivir.

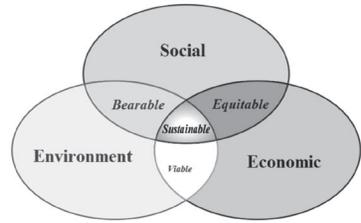
Hoy vemos una nueva situación en la que este proceso de cambio va rápido. Sin embargo, el problema es delicado para los seres humanos porque nos toma alrededor de 20 años ser nueva generación. Entonces, ¿qué está pasando? Están surgiendo nuevas enfermedades y no tienen nada que ver con la responsabilidad natural, porque cuando se le dan oportunidades a la vida, estas oportunidades serán ocupadas por nuevos seres. Nosotros estamos experimentando estas situaciones con nuevas enfermedades, nuevos virus de gripa... Significa que la humanidad entra en una nueva era, seremos barridos y quedará una nueva generación ¿Por qué? Porque es la forma como la naturaleza funciona: si algo interfiere con la naturaleza, ésta lo elimina. La sociedad industrial misma está fertilizando su propia extinción, sin importar cuán sofisticada sea la ingeniería que tengamos.



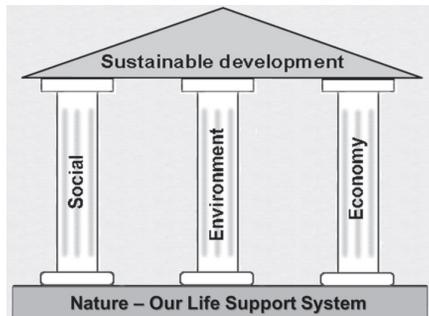
Desarrollo sostenible

Estas son algunas palabras usadas por algunos líderes políticos como definición de desarrollo sostenible:

“Desarrollo sostenible es el desarrollo para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades¹⁸”. Esto suena demasiado feliz. Desafortunadamente no sucede así. Es un concepto equivocado pensar que el desarrollo sostenible es la confluencia de lo ambiental, lo económico y lo social. Planteado así, un desarrollo sostenible fracasa, porque hace que tenga muchas variables que dependen del ser humano.



El desarrollo sostenible está formado por tres pilares: lo social, lo ambiental y lo económico. La naturaleza es el suelo que lo soporta, la que ofrece las condiciones físicas para que exista.



Reflexiones y recomendaciones

Parece que alguna vez dijo Einstein: “*Nosotros no podemos resolver problemas sin usar la misma cantidad de pensamiento que usamos para crearlos*”. En la mayor parte de los sistemas educativos, la ingeniería forma ingenieros diestros en llevar a cabo un desarrollo insostenible. De esta manera, será difícil solucionar el problema de un sistema sostenible. El problema no es la falta de recursos, el problema es que usamos demasiados. La solución es usar menos recursos.

- “La ciencia y la ingeniería necesitan un paradigma basado en la moral y en el respeto por la naturaleza”.

¹⁸ World Commission on Environment and Development (WCED). Our common future. Oxford: Oxford University Press, 1987 p. 43

- *“Solo las culturas que viven en armonía con la naturaleza serán sensibles. Esto implica un nuevo paradigma de ingeniería basado en escuchar la naturaleza, en vez de explotarla”.*
- *“Nosotros no heredamos la tierra de nuestros ancestros, la tomamos prestada de nuestros hijos”.*

No sé cómo explicaré a mis nietos que nosotros hemos malgastado los recursos de este planeta. ¿Cómo poder ver esto profundamente y cómo lo asumirán y verán las personas de las nuevas generaciones? Es increíble, ¿verdad?

Para terminar, una cita de la UNESCO, tomada de la enciclopedia *The life Support System*: *“A source of knowledge for sustainable development and global security to lead to fulfillment of human needs through simultaneous socioeconomic and technological progress and conservation of the Earth’s natural systems”.*

Sexta Conferencia

Instituto de Innovación Industrial

Ronald Pérez

*Vicedecano de Asuntos Académicos y Administrativos, Facultad de Ingeniería
Universidad de Wisconsin, EE.UU.*

El Instituto de Innovación Industrial ha sido creado recientemente en la Universidad de Wisconsin y es un vehículo que estamos utilizando para alcanzar algunas metas a las cuales me voy a referir:

En el Departamento de Ingeniería Mecánica se crearon dos asignaturas, “Fundamentos de ingeniería 1” y “Fundamentos de ingeniería 2”. Actualmente hacen parte de un plan piloto que la Escuela de Ingeniería está emprendiendo y cuyo objetivo es mejorar la atención a los estudiantes de ingeniería. Comenzamos con Ingeniería Mecánica porque tiene aproximadamente el 25% de todos los estudiantes de la Escuela de Ingeniería, en Milwaukee. Otro curso que utilizamos en el Instituto de Innovación es la “realización de productos”, curso que los estudiantes toman en el último año. Las carreras de ingeniería en los EE.UU. duran cuatro años. Éste es un curso interdisciplinario que no está afiliado a ninguno de los seis departamentos que forman la Escuela de Ingeniería y cuyo objetivo es promover proyectos interdisciplinarios y un tipo de educación que sea pertinente con el tipo de ambiente que los estudiantes van a encontrar cuando se gradúen.

Comencemos con una breve presentación de Milwaukee. Milwaukee no es la capital del Estado de Wisconsin, como mucha gente piensa, pero es la ciudad más grande de este Estado. Wisconsin está al norte de los EE.UU., al norte de Illinois, a 100 km de Chicago, a lo largo del lago Michigan. La ciudad de Milwaukee tiene un ambiente bastante regulado por la temperatura. Es una ciudad mediana, para los estándares de los EE.UU. Tiene una población de aproximadamente 1.5 millones y tiene un alto índice cultural e industrial. En los alrededores de Milwaukee, en un radio de unos 50 km, se encuentra el 80% de la base industrial de esta zona. La Universidad tiene aproximadamente 30.000 estudiantes: 25.000 de pregrado y 5.000 de maestría y doctorado. Tenemos 22 programas de doctorado y el programa de doctorado en ingeniería es uno de los dos programas en el Estado de Wisconsin. Solamente el campus de Milwaukee y el campus de Madison ofrecen programas de posgrado y doctorado en ingeniería.



El colegio de ciencias aplicadas es un colegio bastante clásico. Tiene 6 departamentos: ingeniería civil, ciencias de la computación, ingeniería eléctrica, ingeniería industrial y manufactura, ingeniería de materiales e ingeniería mecánica. Los programas que ofrece la Escuela de Ingeniería son de pregrado y de maestría en todas las áreas. Tenemos programas interdisciplinarios, como el programa de ingeniería de computación que es parte del departamento de ingeniería eléctrica y del departamento de ciencias de la computación. También ofrecemos el programa de matemática aplicada a las ciencias de la computación, el cual es un programa interdisciplinario con el departamento de matemáticas. Ofrecemos el doctorado en eléctrica, industrial y manufactura, materiales, mecánica y ciencias aplicadas, y un doctorado bastante innovador en informática médica. El doctorado en informática médica es en asociación con la Escuela de Medicina, y no ofrecemos pregrado y maestría. La Escuela de Ingeniería tiene aproximadamente 2.000 estudiantes: 1.600 en pregrado y 450 en maestrías y doctorados. Admitimos solamente 250 estudiantes cada año y actualmente el departamento de ingeniería mecánica está recibiendo aproximadamente el 25% de esos estudiantes.

La ciudad de Milwaukee es el área del estado de Wisconsin que cuenta con las oficinas de empresas internacionales como las siguientes: *Harley Davidson*, compañía bastante conocida mundialmente en el área de motocicletas: ellos tienen sus oficinas, sus áreas de investigación y desarrollo, así como varias plantas de manufactura en esta ciudad; *Rockwell Automation* también están localizados allá: hacen muchos equipos de automatización principalmente en el área industrial y de manufactura; *Bridge & Stratton*, hacen máquinas de cortar césped y otros equipos industriales ligeros; *Johnson Controls* tienen las oficinas principales de dos de sus más grandes divisiones: la división de baterías que está desarrollando baterías para los vehículos híbridos y la división de *Refrigeración HBAC* que está al frente de la innovación en energía renovable, energía alternativa y ahorro de energía eléctrica; finalmente dos compañías más: *General Electric* con la división de *Health Care* ubicada en un suburbio de Milwaukee, donde hacen y manufacturan dispositivos de resonancia magnética; y *John Deere* que hace equipos agrícolas; además hay otras. Milwaukee tiene una tradición cervecera que procede del año 1750, aproximadamente, cuando comenzó la cervecería Miller que actualmente forma parte de *Sab Miller*, una compañía de Suráfrica. Tenemos *pubs* y otras cervecerías porque tradicionalmente esta parte del país fue establecida por inmigrantes alemanes que trajeron su conocimiento de cervecería. La ciudad de Milwaukee es una zona muy industrial y la conexión con las industrias es parte clave de lo que hacemos en la Universidad y de cómo lo hacemos.

Con estas ideas en mente creamos el Instituto para Innovación Industrial con tres perspectivas:

1. Mejorar la retención de los estudiantes de ingeniería mecánica. Utiliza para ellos las asignaturas “Fundamentos de Ingeniería 1 y 2”. Es un plan piloto, porque el

departamento de ingeniería mecánica es actualmente el 25% de la Escuela. El Departamento de Ingeniería Mecánica acordó incluir estos cursos como parte de su currículum. Es un proceso bastante difícil. El Departamento de Ingeniería Mecánica estaba dispuesto a hacer esa experiencia y nosotros comenzamos este plan piloto con muy buenos resultados. Ahora esperamos extender este plan piloto a las otras ingenierías.

2. Proveer una oportunidad para realizar *capstone design* en una forma multidisciplinaria. Este curso se beneficia del Instituto para la Innovación Industrial. Es el curso de “realización de productos” y su objetivo es que todas las carreras de ingeniería en los EE.UU. en general y en Milwaukee en particular, deben hacer un proyecto de diseño en su último semestre o en su último año. Lamentablemente, esos proyectos son muy disciplinarios. El departamento de ingeniería mecánica ofrece este proyecto; ingeniería eléctrica y nosotros convencimos a los departamentos de que tenemos que crear un proyecto multidisciplinario en el que participen los estudiantes de mecánica, eléctrica, industrial, computación y materiales. Los ingenieros civiles no participan en este curso porque no hemos podido encontrar suficiente cantidad de proyectos que tengan puentes y estructuras, pero que también nos beneficien a nosotros, es decir a los mecánicos y a los eléctricos. Completamos un proyecto muy interesante de unos puentes con sensores automáticos y en este proyecto participaron eléctricos y civiles; pero esto no es lo frecuente, ya que es muy difícil encontrar proyectos.

A continuación voy a describir brevemente el equipo en el Instituto que pone a disposición de los estudiantes de “Fundamentos 1 y 2” y de los de “Realización de productos”. Tenemos la capacidad de aceptar 32 estudiantes solamente, que es un número relativamente pequeño en los EE.UU. Tenemos un software de ingeniería asistido por computador; principalmente tenemos diseño asistido por computadora CAD y análisis de elementos finitos FEA y software de simulaciones. En el Instituto tenemos máquinas de prototipos rápidos, aparatos de estereó litográfico, que permiten realizar un prototipo funcional rápidamente bajando los archivos de CAD. También tenemos equipos de ingeniería diversa, principalmente escanógrafos de contacto, que son dispositivos de carga acoplada, a través del taller de mecánica y del taller eléctrico. Tenemos acceso a todos los equipos del taller de mecánica y de los equipos del taller eléctrico. Lo que los estudiantes han estado utilizando principalmente son los equipos de manufactura rápida, torno CNC, que es una máquina programable de control numérico, etc. También tenemos equipos de moldes de inyección en el taller electrónico y utilizamos muchas tarjetas de circuitos impresos que ellos diseñan con los eléctricos y también programación de microchips. Tenemos una máquina universal de ensayos, equipos como el microscopio de fuerza atómica, microscopios de escaneo de electrones, microscopio de transmisión de electrones y otros equipos. Éste es un laboratorio único en el campus y está en la Escuela de Ingeniería. Esta parte de equipos de caracterización se está poniendo cada vez más en el área de servicio.

Nosotros damos el servicio a las numerosas compañías en Milwaukee, y por una tarifa les facilitamos el acceso a los equipos y hacemos investigaciones con ellos.

Entonces, ¿qué es lo innovador en el curso de ingeniería mecánica I y 2? Parte de lo que estamos haciendo, es que el aprendizaje esté basado en competencias de conceptos. Ahora mismo estamos enfocando la forma tradicional, solamente en las entradas a los recursos: damos a los estudiantes 10 horas de esto, 15 horas de esto, 20 horas de aquello, a lo largo de un semestre. Eso es importante, pero lo realmente importante es saber qué es lo que sale: si los estudiantes aprendieron los conceptos y qué conceptos esperamos que los estudiantes aprendan; entonces estamos reenfocando el curso, midiendo las salidas y no midiendo las entradas. En este curso, otro objetivo es desarrollar el pensamiento crítico y el liderazgo en los estudiantes, recordando que son estudiantes de primer semestre y de segundo semestre. El programa de ingeniería es de cuatro años. Estos estudiantes son relativamente jóvenes. Les enseñamos el proceso de generar, evaluar, refinar, diseñar e implementar ideas y éste es un proceso que es bastante tedioso, pero realmente estos estudiantes se acaban de graduar del bachillerato y el bachillerato en Estados Unidos son 12 años, no 11 como en Colombia. Aparte de lo innovador en este curso, que es aprender haciendo, hay muchas actividades con las manos. Por lo tanto, los estudiantes tienen que pasar mucho tiempo en grupo, iniciar muchas conversaciones... Tienen que llamar a las industrias, tienen que visitar las industrias, tienen que resolver muchas cosas ellos solos. Alentamos, en los estudiantes, el desarrollo de innovación, inicios empresariales y propiedad intelectual. A ellos se les da un presupuesto de aproximadamente 2.500 dólares para el proyecto que van a hacer y, en el mismo, deben utilizar todos los conocimientos que nosotros les estamos dando y todos los recursos que ellos pueden encontrar.

Finalmente, estamos enseñándoles a pensar, utilizando los mapas de conceptos. Un mapa conceptual es una caracterización de una relación de palabras, verbos y sujetos que refleja cómo van pensando los estudiantes. Nosotros acogemos estos mapas y los estudiamos longitudinalmente a lo largo del semestre. El objetivo es irlos refinando con los estudiantes y enseñarles más el proceso de pensar y el proceso innovador. El aula donde funciona el Instituto para la Innovación Industrial fue creada con este objetivo específico. Tiene puertas y paredes de vidrio, está en un área muy central del edificio, y el objetivo es que todas las personas que vengan puedan ver a estudiantes trabajando en un área



innovadora con todos estos equipos a su disposición. Es un área que es flexible donde los estudiantes, cuyo máximo es 32, puedan moverse libremente. También tenemos pizarras de borrar en seco, desde el piso hasta el techo, y los estudiantes van escribiendo en lo que parecen ser paredes, pero no son paredes sino pizarras. También tenemos pizarras inteligentes donde se escribe, aprieta un botón y esa información se imprime en un papel o se descarga en la computadora.

Vamos a hablar ahora de los proyectos “Fundamentos de ingeniería I y 2”. En este semestre el proyecto fue construir una lámpara manual. Los estudiantes tenían un presupuesto y solamente podían comprar ciertas cosas, entre ellas las bombillas, pero tenían que construir la gran parte de lo que tenían que proponer. Este proyecto, en particular, en el que participan estudiantes de primer semestre, necesitaba conceptos de mecánica, conceptos eléctricos e industriales, materiales, ergonomía y economía, para construir una lámpara manual. Los estudiantes tienen que hacer un estudio de mercado, con la poca información que les dan los profesores; tienen que buscar ellos mismos la información y tienen que trabajar en equipo varias veces a la semana. Un grupo diseñó un conjunto de engranajes de metal. Ellos fueron al taller de mecánica a hacerlos; la parte exterior fue hecha con la máquina de prototipos rápidos y los estudiantes tuvieron que diseñar la razón de fuerza y la razón de palancas. Otro grupo decidió utilizar más el equipo de prototipos; por lo tanto, hay más plástico. Todo esto con un presupuesto de 2.500 dólares. Ellos tienen que evaluar y pagar por el material de la máquina de prototipos y por lo menos deben poner en papel los costos de todos los equipos. De esta manera, a los estudiantes que utilizan más metal, les queda menos presupuesto para usar prototipos rápidos y viceversa. Generalmente los grupos son de 3 o 4 estudiantes para un total de 8 soluciones o proyectos. Estos proyectos resultan ser muy diferentes unos de otros. En uno de ellos, los estudiantes usaron ergonomía para determinar la forma y el tamaño y cómo se podía sujetar el prototipo. Los engranajes los diseñaron de tal forma que, a medida que estos dan vuelta, van generando electricidad. Compraron baterías para almacenar electricidad, diseñaron las máquinas de prototipo donde va la luz, siendo estudiantes de ingeniería mecánica. Otro equipo de estudiantes, que se llama la sociedad americana automotriz, diseñó un vehículo de competición. Tuvieron que diseñarlo todo y crear un reporte donde especificaban los valores técnicos del vehículo, como máxima velocidad, máxima fuerza, etc.

Preguntas y respuestas

1. ¿Qué sucede con los proyectos de los estudiantes?

Los proyectos se los compramos a los estudiantes y los ponemos en exhibición en el edificio de ingeniería. Tenemos una gran cantidad de proyectos; los tenemos uno o dos semestres y se los entregamos a los estudiantes. Seguimos el proceso de innovación

mediante otros cursos; estamos en el proceso de poner parte de la innovación en los cursos de segundo año y de tercer año, para que haya una traslación de innovación en ingeniería que culmine con el proyecto que los estudiantes hacen en el último año.

2. ¿Cómo es la ayuda y el seguimiento de los profesores?

Los estudiantes son de ingeniería mecánica. Tienen acceso a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería, pero por su propia motivación. Ellos determinan qué información necesitan y cómo encontrar esa información. Esta clase es una vez a la semana con dos horas y 50 minutos de duración. Los equipos se reúnen y hacen una presentación de 10 ó 15 minutos por equipo de lo que están haciendo; generan ideas escuchando a sus compañeros, proponen ideas y critican lo que están haciendo y el profesor sencillamente es un guía. Tratamos de no dar las respuestas a los estudiantes, pero si un proyecto no está caminando bien, nos reunimos más frecuentemente con ese grupo y tratamos de aconsejarlos. Los estudiantes estudian-haciendo; nosotros no estamos dándoles toda la información, ellos tienen que empezar a buscar la información, ya que tienen acceso a toda la facultad, a la biblioteca y a todos los equipos, y además tienen un presupuesto.

3. ¿Se comercializan los proyectos?

Esos productos no son comercializados, excepto si los estudiantes han hecho un plan de negocio y si existe propiedad intelectual. De hecho ha habido dos estudiantes que han solicitado una patente provisional (primer paso para una patente que da protección por un año). En ese caso la Universidad tiene que evaluar, desde un punto de vista económico, si hay posibilidad futura de hacer una solicitud de patente formal. El proceso de patente formal dura aproximadamente entre 2 y 3 años y cuesta, dependiendo del tipo de patente, entre 10.000 y 30.000 dólares. Por eso la Universidad es muy cuidadosa invirtiendo esos recursos.

4. ¿Quién queda con los derechos de la patente?

El Estado de Wisconsin es el único en el que el inventor retiene el derecho de la patente. A pesar de que esa idea fue generada en la Universidad y fue generada con parte de los 2.500 dólares que ellos utilizaron, los inventores retienen el derecho de la patente. Lo que sucede en la práctica es que generar una patente es demasiado costoso. La Universidad ofrece a los inventores la posibilidad de hacer la solicitud de patente donde ellos son los inventores, pero le van a asignar la patente a la Universidad. En retorno, la Universidad va a obtener el 80% de los beneficios que pueda generar esa patente y los inventores un 20%, pero la Universidad asume todo el costo inicial. Muchas de las patentes realmente no generan beneficios, así que la Universidad es muy específica en decidir qué patentes quiere solicitar.

5. Costos

El costo de un estudiante de tiempo completo en la Universidad es de aproximadamente 6.000 dólares al año, para estudiantes que son residentes del estado.

6. Seguimiento de los estudios

Tenemos varios estudios donde se nota que, longitudinalmente, la generación de ideas de los estudiantes comienza de una forma que es muy lineal, y, a lo largo del semestre, empiezan a tener correlaciones, empiezan a tener ideas que generan ideas. Al principio, se puede observar que el mapa conceptual es muy lineal; pero a través de aprender haciendo y de oír y ver como lo hacen otros, su forma de pensar va cambiando paulatinamente.

7. Participación industrial en los proyectos

Los estudiantes de primer año tienen muy poca participación industrial. La razón es sencilla: esos estudiantes son de primer y de segundo semestre, y realmente no tienen capacidad de ingeniería. Son estudiantes con muy buenas ideas, son muy creativos, pero no tienen ninguna razón de ingeniería ya que terminaron el bachillerato hace un semestre. En el otro extremo en el caso de los estudiantes de último semestre y de último año, el 80 % de esos proyectos sí son industriales y las industrias pagan a la Universidad para que nosotros hagamos esos proyectos de investigación. Muchos de ellos tienen propiedad intelectual, donde la Universidad firma una serie de contratos con ellos y los estudiantes que están participando en esos proyectos tienen que firmar una serie de documentos legales donde garantizan no divulgar la información que la compañía les está dando. Por eso no se muestran muchos de esos proyectos, por tener cláusulas de confidencialidad.

8. La situación de los créditos

El número de créditos de las carreras en los Estados Unidos es de 115 a 125. La diferencia con cualquiera de esos pregrados es de 10 créditos; estamos bajo una tremenda presión de no aumentar el número de créditos. Entonces si vamos a poner cursos innovadores como estos, el departamento de ingeniería mecánica sacó seis créditos. Ello significa que “Termodinámica 2” ya no se da y la segunda parte de “Mecánica de Fluidos” tampoco. Son seis créditos que el departamento capturó para dedicarlos a esto. El departamento de ingeniería eléctrica está muy interesado en los resultados, ya que el número de estudiantes de ingeniería mecánica ha subido rápidamente, y en parte se atribuye a esto “la retención de estudiantes”. Pero el problema que tiene ingeniería eléctrica es que los profesores no se ponen de acuerdo en cuáles seis créditos deben sacar del currículum para introducir estos cursos. La junta de regentes no ve favorable añadir seis créditos.

Séptima Conferencia

Formar ingenieros innovadores es solo una parte del camino hacia la innovación

Mauricio Duque Escobar
Profesor Investigador, Universidad de los Andes

En esta oportunidad quiero responder una pregunta que para mí es bien importante: ¿formar ingenieros con competencias para innovar y tener grupos de investigación, completa las tareas de una facultad de ingeniería? En otras palabras, si hacemos esto, ¿es suficiente desde el punto de vista de innovación y con ello podemos impulsar vigorosamente los procesos que la sociedad colombiana necesita?

Para tratar el tema, hablaré de 4 asuntos:

1. La innovación.
2. Visión de la problemática nacional sobre el tema.
3. Diagnostico incompleto.
4. Pistas para la solución de estas problemáticas.

Con el fin de ilustrar la complejidad que tiene el tema de innovación, partiré de varios documentos recientes, la mayoría de este año, de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico –OECD–, y de las pruebas que hacen todos los países desarrollados y en algunos países, como Colombia, que han aceptado involucrarse en algunas de estas pruebas. La primera cuestión es romper con la idea común que existe de que innovar es simplemente tener una idea novedosa. Innovar va un poco más allá; la innovación requiere efectivamente que esa idea llegue a ser utilizada por la sociedad exitosamente. En economía a menudo se menciona que debe llegar a un mercado que compre esa idea.

Una idea que no ha sido utilizada, o que no logre llegar a la sociedad, simplemente no es innovación; es una buena idea que se tuvo pero que, posiblemente, faltaron algunas etapas o que sencillamente resultó no viable. Hay una serie de mitos que es importante revisar. Voy a aportar algunos datos que me llevan a afirmar que son mitos, que no son necesariamente correctos y que desorientan cuando uno entra en el tema de innovación:

- El primero es la linealidad automática que supone que de la investigación básica sale la investigación aplicada, de allí se pasa al desarrollo, y luego se pasa a producción y difusión. Es importante insistir en que la tecnología, en general, no se puede ver simplemente como ciencia aplicada y, en consecuencia, la innovación aún menos.

Existen una serie de modelos y visiones alternativas entre las cuales podemos citar: *Industrial Organization Theory*, *Organizational Innovation*, *Evolutionary approaches*, que proponen ver la tecnología como un proceso complejo. En los modelos reduccionistas, cada modelo tiene la capacidad de captar algunos de los fenómenos pero no necesariamente todos; y a veces observamos varios modelos para tratar de aproximarse a la complejidad que tiene el tema de innovación.

Uno de los aspectos clave es que, en general, la innovación comienza no con el productor sino con el cliente. Existen varios documentos que muestran estudios que insisten sobre la importancia de involucrar a proveedores, clientes y fuerza de trabajo; ellos no están en ese modelo lineal que ve la perspectiva de la producción en cadenas.

- El segundo mito, que a veces aparece, es pensar que basta con formar buenos ingenieros en las universidades, esto es una élite, con la que se resuelve el problema. Hay un estudio francés reciente, de este año, como resultado de los estudios de los países de la OECD, en el que se muestra que hay una correlación directa entre la calidad de la base y la calidad de las élites. En otras palabras, las élites no son mejores que la base y la base limita considerablemente la posibilidad de formar élites de alto nivel. Suponer que una élite puede promover innovación en un marco en el cual la mayoría no tiene acceso a educación pertinente y de calidad es una utopía: es una conclusión de la OECD a partir del último estudio de PISA que se centró en el estudio de ciencia.
- Otro mito que a menudo aparece, es que las universidades son actores centrales de la innovación. La tabla muestra porcentajes de participación en patentes. Si observamos a lo largo de una serie de cinco años, las universidades mantienen un 2% de las patentes mundiales; institutos que son asociados con empresas no llegan al 1%; los individuos solos o personas solas que tienen y desarrollan alguna idea hacen el 16% y 12%. Al menos en esta serie de tiempo los otros, que son la industria y todos sus centros de investigación, hacen la mayoría de trabajo en patentes.

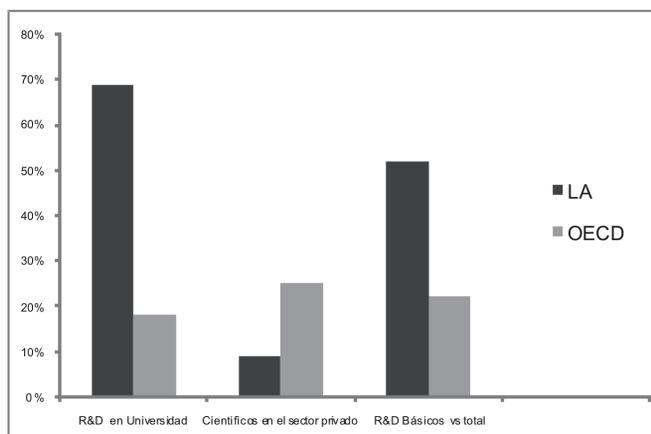
Porcentajes de participación en patentes

Año	Individuos	Institutos	Otros	Universidades
2004	16%	0,49%	81%	2%
2005	16%	0,53%	82%	2%
2006	14%	0,61%	83%	2%
2007	13%	0,68%	84%	2%
2008	12%	0,76%	85%	2%

La siguiente gráfica compara Latinoamérica (LA) con los países de la OECD. La primera sección (“R&D en Universidad”) permite ver que la investigación y el desarrollo en los países desarrollados no se hace fundamentalmente en las universidades; mientras que en los países, como los latinoamericanos, la mayoría se hace en las universidades,

porque en la industria se hace muy poco. En la segunda sección (“Científicos en el sector privado”) encontramos la distribución de científicos entre las universidades y el sector privado: en América Latina fundamentalmente están en las universidades; en otros países no necesariamente es así.

Investigación y desarrollo en Latinoamérica y países de la OECD



La más importante responsabilidad de una universidad, en una red de innovación, es la formación de fuerza de trabajo en el nivel terciario. Este aspecto es fundamental, porque sin profesionales adecuados para la innovación no vamos a llegar muy lejos. Una conclusión que me permite sustentar lo que sigue es que la innovación involucra a la sociedad completa. Debemos generar condiciones en la sociedad, para que se den procesos de innovación, y esto involucra a ciudadanos, productores, consumidores, organismos de regulación, organismos de investigación y, por supuesto, organismos de educación. La política de innovación rebasa el campo de la política de ciencia y tecnología. Para fomentar la innovación se requiere una percepción más general de los factores que pueden impedirla. Por lo tanto, se precisa un conjunto más amplio de diagnósticos que los vinculados con la ciencia y la tecnología en sí. Para la innovación se requieren personas con creatividad, iniciativa, adaptabilidad y capacidad de resolver problemas.

Una de las grandes conclusiones que acaba de salir de la OECD es que, en el siglo XXI, el concepto de alfabetización pasó de ser, según declaraciones de la Unesco, la lectura, la escritura y contar, a alfabetización en ciencia y tecnología, por la importancia que tienen en la actualidad. Y estamos hablando de todos los ciudadanos. Los nuevos imperativos de una economía global implican nuevas habilidades y, en consecuencia, un sistema educativo que debe estar en capacidad de innovar para responder a estos retos. Hablamos del sistema educativo completo. Voy a retomar lo que decía el señor

viceministro de educación superior. Observando en detalle, vemos una reducción rápida de las vocaciones hacia carreras científicas y de ingeniería. Esto no sucede sólo en Colombia: es una tendencia general en el mundo, de la cual se escapan muy pocos países. Buena parte de los estudios indica que un responsable importante es el tipo de educación en matemáticas, ciencia y tecnología que se ofrece en educación básica y media. Esto sale en unos reportes de la academia norteamericana de ingeniería; diciéndolo en términos coloquiales, los estudiantes terminan odiando las matemáticas, la ciencia y todo lo que les esté asociado, entre ello, evidentemente, la ingeniería.

Las dificultades que los nuevos aspirantes tienen en matemáticas, ciencia y tecnología, producto de un sistema de educación inadecuado en sus primeros 12 años, se refleja en una alta deserción y utilización poco eficaz del recurso para la formación de ingenieros y científicos. Esto contrasta con la creciente importancia del tema de ciencia y tecnología en el mundo. En países como Colombia, que aspiran salir de la situación de subdesarrollo, tiene un impacto mayor ya que tenemos que hacer un esfuerzo más grande en esta dirección; necesitamos educar una nueva generación de ingenieros con unas nuevas competencias y, si no contamos con buenos estudiantes, difícilmente lo vamos a conseguir.

En conclusión, el tema de la deserción muestra que los procesos de enseñanza y aprendizaje son inadecuados para los retos presentes. Otro asunto que se ha mencionado es la débil relación industria-universidad existente en el país, donde la industria va por un lado y las universidades por el otro, el diálogo es poco frecuente y hay una gran diversidad en la calidad de las instituciones de educación superior, asuntos que no se resuelven haciendo doctorados, ya que el problema es más profundo; es parte, pero no todo el camino. Adicionalmente, a esto se mezcla una gran incapacidad de las instituciones educativas, por su tradición y organización, de adaptarse rápidamente a los cambios: dentro de las instituciones educativas hay algunos aspectos que hacen difícil llevar a cabo cambios oportunos. El reto es hacer oportunamente esta clase de cambios.

Concluyó la primera parte afirmando que el compromiso de las facultades de ingeniería no sólo es con la formación de sus estudiantes y con la promoción de investigación de alto nivel, sino también con el desarrollo de un sistema efectivo de educación y de innovación que involucra muchas otras responsabilidades y acciones.

Pistas para una solución

En este punto planteo algunos elementos que debemos considerar. Es claro que debemos formar ingenieros para la innovación; es claro que debemos tener muy buenos grupos de investigación bien articulados a la industria; es claro que debemos trabajar en estrategia de articulación con la industria ya que las que hemos tenido no han sido

muy eficaces; es claro que debemos formar investigadores para la industria, que es un tema bien importante ya que la mayoría de los investigadores están llegando a las universidades y aún el flujo es insuficiente para llegar a las industrias; es claro que debemos participar en estrategias de articulación con políticas de estado, ya que es importante empezar a tener peso a nivel no de gobierno sino de estado. Pero me quiero enfocar en el tema que he trabajado y sobre el que puedo dar muchos más elementos. Todo esto es simplemente para ver por qué ese trabajo que se hace en la educación primaria y secundaria en matemáticas, ciencia y tecnología, tiene sentido desde el punto de vista de la innovación y desde el punto de vista de una facultad de ingeniería.

Entre las muchas cosas que tenemos que hacer como facultades de ingeniería, una es mejorar la cantidad y la calidad de los estudiantes que llegan a la universidad a estudiar ciencias, matemáticas e ingeniería. Hay que mejorar la educación de base. Sobre esto hay pistas claras como un reporte que acaba de salir de la Academia Norteamericana de Ingeniería en el que se hace un recuento de los esfuerzos de las últimas dos décadas en EE.UU. en lo que ellos llaman STEM que es ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas en educación primaria y secundaria. Estamos hablando de convertir la ciencia, la tecnología, la ingeniería, y las matemáticas en parte de lo que todo ciudadano debería comprender mínimamente, a través de una educación primaria y secundaria. Existen asociaciones como IEEE, ASME o CDS que han expresado en declaraciones públicas la importancia de este tipo de acciones. El número de proyectos es gigantesco; de ellos quiero resaltar tres no norteamericanos. Uno de ellos es IECT, que es enseñanza integrada de la ciencia y la tecnología, un proyecto que arrancó hace dos años en Francia y está teniendo muy buenos resultados para la educación media. Otro es ESTEP, que es una iniciativa que va desde el acompañamiento de las escuelas de ingeniería a procesos de primaria y secundaria, y de formación de maestros en temas que tienen que ver con matemáticas, ciencia y tecnología. El último, “Pequeño Científicos”, que es una de las iniciativas colombianas que ha tratado de lidiar con este tema de las vocaciones para ingeniería y de la cultura general que todo ciudadano en el siglo XXI debería tener, con respecto a la educación científica y tecnológica. Éste es un proyecto que está en más de 50 países, en términos de que tenemos proyectos similares, países con los cuales colaboramos: “Pequeños Científicos” es un pequeño proyecto dentro de todo ese universo de proyectos que se desarrollan en el mundo. “Pequeños Científicos” es un proyecto que trata de promover la renovación de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias experimentales y la tecnología en las instituciones educativas de Colombia. La aproximación pedagógica propuesta en este proyecto estimula el espíritu científico, la comunicación oral y escrita y el desarrollo de valores ciudadanos en niños y jóvenes.

La ciencia ha sido muy exitosa en su propio proceso de aprendizaje, el rápido avance del conocimiento científico se ha logrado por medio de actividades de indagación. Los

niños pueden aprender de forma más significativa las ciencias, siguiendo un proceso de indagación similar al que utiliza el científico en el que la observación, la manipulación, la formulación de preguntas e hipótesis, la experimentación, la recolección de datos, la detección de patrones y la confrontación de ideas están en el centro de trabajo. Sin embargo, para que un proceso de este tipo tenga éxito, es necesario desarrollar ambientes de aprendizaje y experimentación interesantes y seguros para los niños, que les permitan desarrollar sus competencias científicas y les brinden gran autonomía en la realización de las experiencias. Los niños se organizan en grupos pequeños y hacen trabajo cooperativo: cada estudiante cuenta con un rol definido, cada niño lleva su cuaderno de “Pequeños Científicos” en el cual registra el trabajo que va realizando con sus propias palabras, esquemas y dibujos; la información del cuaderno es necesaria para futuras sesiones de trabajo, y el niño va descubriendo por sí mismo que sin un orden y presentación adecuados la información puede resultar inútil; adicionalmente va aprendiendo a registrar lo fundamental. Esta actividad contribuye además al desarrollo y consolidación de la capacidad de expresión escrita. En el transcurso de las experiencias, los niños presentan sus ideas, discuten y argumentan en torno a los resultados obtenidos y a las conclusiones propuestas. Con estas experiencias, los niños aprenden a escuchar a sus compañeros y mejoran sus habilidades en expresión oral, participación y convivencia.

El ciudadano de hoy debe aprender a utilizar la ciencia en su mundo cotidiano. Por ello, el proyecto propone a los niños la realización de experiencias en su casa, con sus padres, en situaciones diferentes al aula de clase. Esto lleva lentamente a que el niño comprenda que existe una visión científica del mundo que es útil en su interacción con la sociedad. Para que un ambiente de aprendizaje de este tipo pueda construirse, es necesario transformar el papel del maestro, que se convierte en un guía que, con sus preguntas y observaciones, orienta el trabajo de los niños para que estos construyan por sí mismos sus conocimientos en torno a la ciencia. Pero los maestros no conocen la multiplicidad de temas de la ciencia; por ello el acompañamiento científico de investigadores y estudiantes universitarios resulta fundamental. Los niños valoran el poder discutir los descubrimientos con profesionales, así como el maestro encuentra gran utilidad en poder contar con científicos e investigadores que lo apoyen en sus dudas.

El maestro de las escuelas primarias, normalmente no tiene como primera competencia las ciencias naturales. Sin embargo, para que la propuesta tenga éxito, el maestro debe lograr además del manejo pedagógico, conocimientos sobre la filosofía de la ciencia, su historia, su método; para ello es indispensable el diseño de espacios de formación apropiada. El proyecto de “Pequeños Científicos” propone un acompañamiento de los maestros para que cada proyecto de escuela sea un éxito, como muchos que ya están en desarrollo en Colombia y en otros países. Para lograr el desarrollo y cobertura deseados, un número creciente en instituciones educativas, empresarios,

escuelas y entidades del gobierno de las diferentes regiones de Colombia, se han ido vinculando a la red de cooperación. En cada región se configura un nuevo centro de desarrollo del programa; la articulación de esta red es promovida por la alianza “Pequeños Científicos”. En la actualidad son más de 70 instituciones, 300 maestros, y 12.000 niños los que están participando en Colombia de esta iniciativa. A su vez, el programa se articula con una red internacional de cooperación en más de 20 países del mundo.

El programa “Pequeños Científicos” fue honrado con el premio internacional a la alfabetización científica de los niños del planeta, en el 2005, en reconocimiento al trabajo realizado y a los resultados alcanzados. Este premio es entregado por la *Escuela de Minas de Saint Etienne* y en el jurado participan presidentes de las principales academias de ciencias, así como premios Nobel. El programa “Pequeños Científicos” tiene se ha trazado una misión que, que es una misión compartida con las instituciones participantes, que tienen por objeto promover y contribuir al mejoramiento de la enseñanza-aprendizaje de la ciencia y la tecnología de los niños, niñas y jóvenes colombianos. El programa trabaja el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas, pero adicionalmente lo que lo hace muy interesante son las habilidades de comunicación y los valores ciudadanos. Entre las instituciones o entidades que colaboran en este momento, encontramos algunas fundaciones privadas que son el real soporte de este programa, tales como: Fundación Gas Natural, Fundación INTEL, Fundación Siemens, Fundación DOW, Fundación Cerrejón, Fundación G2C, Fundación Mamonal.

El programa trabaja las siguientes dimensiones:

Currículo y materiales. A los maestros se les proponen materiales, podríamos decir científicamente desarrollados, que permiten lograr los aprendizajes que se están buscando. En esto colaboramos intensamente con muchos países que tienen los recursos para hacer los desarrollos, lo que quiere decir que el haga más bien de una actividad de apropiación y adaptación de estos materiales

Formación de maestros. En el sistema han pasado, en Colombia, 1.600 maestros que cubren una población de 52.000 niños. Se han desarrollado estrategias de evaluación, en las cuales colaboramos con otros países, como Panamá, con universidades norteamericanas, europeas y una aproximación al tema de la comunidad, que tiene que ver con la organización escolar, padres de familia y comunidades de aprendizaje.

A nivel de materiales, existe una lista de los muchos que utilizamos, todas de instituciones de primer nivel en el mundo, que tienen una gran capacidad de investigación y desarrollo, y con las cuales hemos hecho acuerdos para no volver a inventar, sino partir de lo que otros ya han hecho. Hay un sitio en internet que quisiera resaltar

www.indagala.org. Se trata de una iniciativa de toda América Latina, para poner en línea sitios de apoyo a maestros que trabajan en la enseñanza de la ciencia y la tecnología por indagación. Actualmente la Universidad de los Andes es la responsable de su administración; pero es una administración que se rota entre los 12 países participantes.

Indagación como estrategia de enseñanza. Si la entramos a analizar, podríamos preguntarnos por qué no se utiliza en la universidad. El principio es muy sencillo: uno aprende investigando. Se puede pensar en transformar los procesos de educación en las universidades utilizando este tipo de estrategias. Es preciso ser coherente con la naturaleza de la ciencia y conectarse bien con la tecnología; debe ayudar a desarrollar competencias matemáticas, lingüísticas, ciudadanas y de pensamiento crítico. Existen evidencias de que, como estrategia de enseñanza y aprendizaje, puede tener resultados muy positivos, porque es coherente con lo que se sabe del aprendizaje humano y además, algo que es fundamental para nosotros, | es que motiva a los estudiantes a estudiar temas de ciencia y tecnología.

Octava Conferencia Colaboración India – Estados Unidos para la educación en ingeniería: un modelo para la colaboración global

Krishna Murti Vedula

*Director Ejecutivo de la IUCEE¹⁹, Presidente electo de IFEES²⁰
y Profesor de la Universidad de Massachusetts - Lowell, EE. UU.*

Voy a comenzar hablando acerca de la Universidad de Massachusetts en la ciudad de Lowell. Es uno de los cinco campus del sistema de la Universidad de Massachusetts. Este campus está localizado a 40 km de Boston, al Noroeste de Estados Unidos. Tenemos aproximadamente 12.000 estudiantes, 7.000 de pregrado, 3.000 ya graduados que continúan su educación, así como otros que colaboran con la industria, alrededor de 3.000 más. En total tenemos casi 13.000 estudiantes. Tenemos 15 programas de doctorado, 10 programas de maestría 76 carreras de pregrado, los cuales conforman nuestra facultad.

Yo soy graduado en ingeniería gracias a un convenio entre India y Estados Unidos. Nací en India y fui a los Estados Unidos hace 21 años, y durante los últimos 14 años he estado allí. Soy ciudadano americano y he participado en la construcción de un convenio desde hace tres años.

A continuación menciono los 14 grandes retos de la ingeniería²¹. Estos retos son difíciles, pero son los que atañen a la ingeniería moderna, a la gente que se mueve en este campo y que requieren solución en el siglo XXI:

1. Obtener energía solar a precios competitivos
2. Suministrar energía a partir de la fusión
3. Desarrollar métodos para secuestrar carbono
4. Manejar el ciclo del nitrógeno
5. Suministrar acceso al agua potable
6. Restaurar y mejorar la infraestructura urbana
7. Avanzar en la informática para la salud
8. Aplicar ingeniería para obtener mejores medicamentos
9. Hacer ingeniería inversa del cerebro
10. Prevenir el terror nuclear
11. Proteger el ciberespacio

¹⁹ Convenio de Colaboración entre India y Estados Unidos para la educación en Ingeniería

²⁰ Federation of Engineering Education Societies

²¹ Tomado de la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos. Disponible en: www.engineeringchallenges.org

12. Mejorar la realidad virtual

13. Avanzar en el aprendizaje personalizado

14. Diseñar herramientas para el descubrimiento científico

Pienso que si el mundo quiere seguir mejorando y siendo un lugar saludable para todos los seres humanos, nosotros como ingenieros, como educadores, debemos formar a los futuros ingenieros desde ahora, pues son ellos quienes deberán tener en cuenta estos retos. En este mundo global hemos encontrado la manera, incrementando el crecimiento de la tecnología en los países, formando gente competente. El poder intelectual de la educación es la llave más importante para el éxito. La innovación es la que nos conducirá hacia una economía social sostenible. La tecnología está cambiando rápidamente. Ser ingeniero no es solo una profesión, es ser un espíritu innovador, como lo es la ingeniería. Algunas profesiones toman algunas ideas de la realidad: científicos, biólogos, químicos, todos estudian la naturaleza, estudian lo que es el mundo. En cambio los ingenieros son creadores. La tecnología ha hecho desde complicados computadores portátiles, hasta sencillas sillas y mesas.

La situación es crítica y los ingenieros son los responsables de hacer profundos cambios en nuestra sociedad. Muchas universidades, alrededor del mundo, estén formando los ingenieros del siglo XXI con un currículo del siglo XX y en instituciones del siglo XVIII. Esto es evidente en gran parte de los Estados Unidos. Como resultado, la ingeniería en ciertos casos, no resulta atractiva para los jóvenes entusiastas de muchos países. En una reunión previa, comenté que éste sería el principal problema en Colombia. Ya es un problema serio en los Estados Unidos: muchos jóvenes no quieren ingresar a ingeniería. Pero no es un problema de la gente joven. Ellos están listos, pero nosotros tenemos que hacer el cambio, nosotros tenemos que trabajar con ellos y comenzar a combatir la falta de tecnificación frente a estos retos del siglo XXI. Tenemos que hacer algo, no detenernos, porque el mundo necesita buen talento para la ingeniería, para encontrar soluciones para todos estos retos como la energía solar, el cuidado del ambiente, la salud y las comunicaciones.

Desde hace tres años, la Sociedad Americana para la Educación en Ingeniería (ASEE por sus siglas en inglés) ha delegado a una persona para el manejo global de esta situación. Él vino a contactarme interesado en un convenio entre India y Estados Unidos. India es una nueva democracia en el mundo; Estados Unidos es la más importante democracia del mundo. Hemos pasado alrededor de 13 años dando capacitaciones en diferentes universidades de Estados Unidos y hemos estado buscando nuevos retos. Así que, le dije: “déjeme explorar y ver qué podemos hacer”. Nosotros nos conectamos con el sistema de ingeniería en India, tratando de entender de manera más profunda para ver qué podríamos hacer con dicha colaboración entre la India y EE. UU. Como ustedes saben, India se ha estado expandiendo en los últimos 20 años. El primer paso fue abrirse al mercado libre, crecer en su economía y, por esta

razón, vemos sus avances en el uso de la tecnología de las comunicaciones. Ha tenido un notable progreso a nivel global, porque, con el mejoramiento económico, muchos ingenieros han obtenido mejores trabajos; y han aparecido nuevas escuelas de ingeniería, porque muchos más jóvenes van a las ingenierías con el fin de obtener buenos trabajos.

De hecho, se puede ver que, desde 1990, el número de estudiantes de ingeniería en universidades aumentó de 50.000 a 600.000. Esto significa un gran número de estudiantes, en casi 2.000 universidades, muchas de ellas nuevas, que funcionan desde hace 5 ó 10 años. Hay muy pocos programas de doctorado, porque en India la investigación no está muy desarrollada, como sí lo está en los Estados Unidos. Hay tan sólo unos pocos doctores disponibles para enseñar en estas universidades.

El salario de la mayoría de profesores allí es mucho más bajo que el salario de quienes están trabajando en la industria. Esto se convierte en un problema delicado. Entonces, la calidad y la investigación en ingeniería son un serio problema que hay que abordar de inmediato, porque impactan la economía de India y de Estados Unidos, porque mucha gente, como yo o como ustedes en Colombia, se dirige hacia Estados Unidos a trabajar. Esto afecta las economías productivas locales e impacta la economía de Estados Unidos y, por ende, la de todo el mundo. Intentamos hacer algo para cambiar esto, creando la Sociedad o Convenio de Colaboración entre India y Estados Unidos para la educación en Ingeniería (IUCEE). En el año 2007, cerca de 150 líderes estadounidenses y de la India, empezaron a reunirse en dos encuentros anuales, uno en India otro en Washington D.C. con esta visión: mejorar la calidad y la relevancia global de la educación en ingeniería en lo concerniente a la colaboración entre India y EE. UU.

Todo ello se sustenta en cuatro pilares: 1) centrarse en el aprendizaje como resultado de la enseñanza; 2) mejorar la calidad del aprendizaje; 3) la calidad en la investigación y la acreditación; 4) la renovación. Como resultado, EE. UU. y otros países se beneficiarán de la alta calidad y talento disponible globalmente.

Teniendo en cuenta el proceso de mejoramiento de la capacidad en India para la investigación en ingeniería y educación, las lecciones aprendidas podrían ser útiles para otros países, y eso es lo que hemos tratado de hacer: aprender de las lecciones de este convenio durante estos tres años y que hoy estamos compartiendo con ustedes. Así que podríamos usar algunas de estas lecciones para pensar en hacer algo similar con la ingeniería en educación en Colombia y la ingeniería en educación de EE. UU. Entonces, lo que se demuestra es que es posible pensar en iniciar facultades competentes, como de la que he hablado, creada en los últimos tres años.

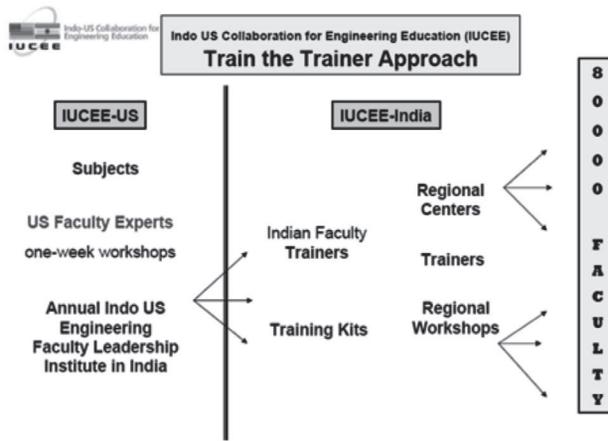
El segundo asunto del que deseo hablar, es acerca de un programa de doctorado en las universidades de ingeniería de India y que pueden tener una interesante duplicidad,

con un asesor experto en India y otro en EE. UU. para conseguir mayor calidad en los programas de PHD e incrementar los doctorados. Pues bien, el aprendizaje es la pieza más importante. En cada momento en que yo estoy enfrente de la clase, repito para mí este mantra: “no es importante lo que yo enseño, es importante lo que ellos aprenden”. De manera que, si está, en mi mente en el momento en que ellos aprenden, estará en ellos en el momento de enseñar. Ésta es la única forma de ir por una buena vía. Yo tengo que cambiar y ellos tienen que aprender.

El dinero es muy importante para sostener estos programas y es muy difícil obtener dinero de parte del gobierno: toma mucho tiempo convencerlo. También en ocasiones es difícil obtener dinero de la industria. Así que tuvimos una idea y fuimos a visitar algunas familias adineradas de la India. Ellos, al igual que yo, vinieron a los Estados Unidos hace 14 años, montaron empresas e hicieron mucho dinero. Así que nosotros fuimos a visitarles con esta idea. Tan solo teníamos un plan, no muy bien estructurado, pero sí un muy buen plan. Teníamos que hacer algo y necesitábamos dinero, así que buscamos gente con dinero. De esta manera, conseguimos de ellos 1,5 millones de dólares. De igual forma, la empresa *Infosys*, empresa multinacional de servicios de tecnologías de la información con base en Bangalore (India), nos dio soporte técnico para el desarrollo de los proyectos de ingeniería educativa. De esta forma, todos juntos nos hemos movido para llevar adelante este convenio, durante los dos últimos años. Es importante creer que si todo lo que pensamos será exitoso, debemos hacerlo y buscar apoyo y dinero. Si no hacemos esto como profesores, estaremos mal. Si se logra construir el proyecto de colaboración entre Colombia y EE. UU., para la educación en ingeniería, la gente clave tiene que encontrar formas de obtener dinero. Si no es así, nada pasará. La clave es tratar de estar en movimiento y estoy seguro que hay mucha gente de origen colombiano que ha hecho mucho dinero y que simpatizarán con el proyecto de educación en ingeniería como forma de mejorar el crecimiento económico de Colombia. Quizás ellos vivan en Colombia o en los Estados Unidos o en otra parte. Si ya tienen esta visión, llámenlos, convénczales y obtengan el dinero. Con el gobierno el proceso es demasiado lento, y la industria, muchas veces, lo piensa mucho antes de hacerlo. Así que, si en verdad ustedes desean progresar en estos proyectos, ésta es la estrategia. Por ejemplo, nosotros lo hemos logrado durante los dos primeros años; aunque lentamente, éste se ha consolidado y se ha vuelto sostenible. En ese orden de ideas, hemos continuado buscando alternativas y recursos. Para este convenio tenemos los siguientes miembros: *American Society Engineering Education*, *Indian Society in Technical Education*, que son algo similar a *ACOFI*; y en India, la *International Society for Engineering Education Societies*.

Estos son algunos de nuestros patrocinadores para la IUCEE: *Infosys*, *National Instruments*, *Autodesk*, *Siemens* y ahora el Banco Mundial también se ha involucrado y en este momento está patrocinando en este momento algunos de nuestros proyectos.

Proceso de facilitación del entrenamiento. IUCEE



Estados Unidos tiene expertos en diversas áreas de la ingeniería para la educación. Estos expertos van a India y analizan algunos de los proyectos de las facultades. Cada facultad tiene a cargo unos proyectos. Son facultades experimentadas en la enseñanza desde hace muchos años. Éstas envían sus mejores líderes de proyectos a un entrenamiento con los expertos americanos, los mejores en diferentes áreas, durante una semana; luego cada uno de los líderes de proyectos es enviado a diferentes partes de India a mostrar su proyecto, (“*el entrenado entrena*”) y a asesorar nuevos proyectos. De esta manera, se crea una experiencia que inicia con un experto americano, que entrena 30 expertos de India; estos se proyectan a muchas facultades de Ingeniería, en diferentes áreas y sectores, y así se incrementa el número de miembros. Recordemos que en India hay alrededor de 8.000 facultades de ingeniería.

Algunos de los expertos han escrito libros utilizados en India y en otros lugares del mundo. Por ejemplo, Richard Felder y Rebecca Brent ²² con sus textos relacionados con “*Effective Teaching*” y “*Pedagogy Practice*”: hay muchos proyectos en el mundo, centrados en “*effective teaching*”. Inicialmente, la necesidad de India fue ciencia de la computación e ingeniería. Hemos establecido 15 centros regionales en todo el país que continúan el entrenamiento de líderes regionales y promueven el acceso de proyectos, para analizar qué es lo nuevo en ingeniería y sus campos, que se está haciendo, cuales son los resultados y cómo podemos mejorarlos.

Vamos a hablar ahora del papel del gobierno. A veces está listo para ayudar; pero en ocasiones, no desean ayudar mucho. Debe mirarse cómo lo pueden hacer; así que

²² Codirectores del National Effective Teaching Institute (NETI)

hemos tratado honestamente de convencerlos, les invitamos a algunas facultades, les mostramos algunos proyectos y se ha logrado el apoyo para algunas.

Las familias que nos han dado dinero, después de dos años nos dijeron: “es tiempo de que esto sea ya sostenible”. Por eso estamos buscando la sostenibilidad para el futuro, de modo que las universidades y facultades en India deben obtener beneficios para poder continuar con este trabajo.

Para acceder al convenio, cada universidad debe pagar una membresía, tanto en Estados Unidos como en India. Lo necesitamos para continuar apoyando los proyectos que se están creando a nivel regional, tratando de mejorar la educación en Ingeniería de India y ayudando, lo mejor posible, a la de EE. UU. Estos son algunos de los beneficios de tener la membresía: poder realizar intercambios entre miembros de las universidades, obtener apoyos para que los estudiantes puedan vivir experiencias globales en diferentes países, acceso a mejores prácticas de educación en investigación, unirse a diversos programas de doctorado y ayuda para entrar en programas de Estados Unidos, lo cual se convierte en el siguiente pilar para la IUCEE: incrementar el número de estudiantes de doctorado en convenio con entidades de Estados Unidos. Asimismo se apoya a las facultades de ingeniería pequeñas y se establecen procesos mucho más sencillos para el ingreso de estudiantes a programas de posgrado.

Novena Conferencia

Marco actual de política de ciencia, tecnología e innovación

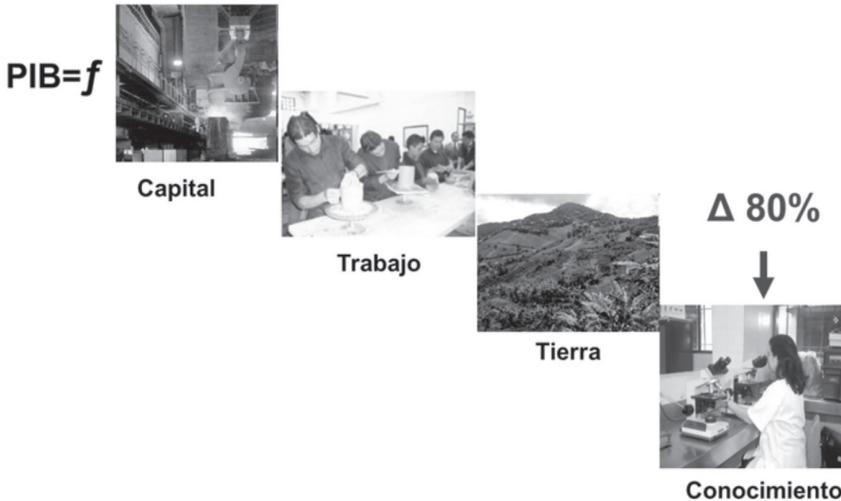
Jorge Alonso Cano Restrepo

Director de Desarrollo Tecnológico e Innovación del

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS

Quisiera comenzar mi intervención refiriendo un ejemplo ilustrativo que proviene del campo del agro. Es el trabajo que ha hecho CENICAÑA en el desarrollo de la variedad CS8592. Ha supuesto una inversión de \$187 millones de dólares que está dando una rentabilidad y un retorno de \$46 millones de dólares anuales, que si lo miramos en términos de la Tasa Interna de Retorno (TIR), estamos hablando del 36% a precios constantes. Invertir en ciencia, tecnología e innovación es una inversión riesgosa pero altamente rentable.

Conocimiento y crecimiento económico:



Durante los últimos años se ha venido creando una serie de instrumentos, que arranca desde los planes de desarrollo del año 2002 – 2006. Podríamos decir que se anticipó, desde el año 1990 con la Ley 29, pero se fue concretando con los instrumentos de los últimos tres años, resaltando la política de competitividad, en la que se ponen la ciencia, tecnología e innovación como el fundamento de todo el tema de transformación productiva y de desarrollo. La política “*Colombia siembra y construye futuro*”, que generó COLCIENCIAS en el año 2008, nos hace desembocar en los dos elementos principales que venimos a discutir hoy: la Ley 1286 de 2009, aprobada en el congreso

en el mes de diciembre del año 2008, sancionada en enero de este año y publicada en febrero; y el CONPES 3582, que contiene los dos marcos que estamos trabajando en ciencia, tecnología e innovación. Como comenté anteriormente, desde la política de productividad y competitividad es bien importante notar que el tema de ciencia, tecnología e innovación aparece como el fundamento de todo lo que vamos a trabajar en los tres siguientes pilares: 1. Sectores de clase mundial; 2. Salto en productividad y empleo; 3. Formalización laboral y empresarial. La política “*Colombia siembra y recoge futuro*”, crea las condiciones para que el conocimiento sea un instrumento de desarrollo. Tiene como desafíos acelerar el desarrollo económico, disminuir la inequidad y hacer aportes al conocimiento. Se basa en seis estrategias, que abarcan la consolidación de la institucionalidad del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación; una política para el fomento de la apropiación de la ciencia; trabajo en la atención regional e internacional, es decir, desarrollo en las regiones y la inserción de Colombia en el contexto de la ciencia, tecnología e innovación internacionales; un programa de apoyo a la formación avanzada de investigadores; la consolidación de las capacidades y la transformación productiva. Estas estrategias se enfocan a los tres objetivos planteados anteriormente.

La política habla también de orientarse hacia unas áreas estratégicas, como biodiversidad; materiales y electrónica; salud; agua; investigación social; fortalecer las TIC en áreas como el biocombustible, aprovechando todo nuestro potencial agro y de energía solar; fortalecer empresas exitosas; apoyar otras formas de aglomeración empresarial y tomar ventaja de nuestros recursos naturales. La Ley 1286 de 2009 plantea como objetivo principal fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y a COLCIENCIAS, para lograr un modelo productivo sustentado en la ciencia, tecnología y la innovación, para dar valor agregado a los productos y servicios de nuestra economía y propiciar el desarrollo productivo y una nueva industria nacional. Desmenuzando este objetivo, tenemos unos retos bien interesantes de lo que pueden hacer la ciencia, la tecnología y la innovación en el proceso de desarrollo y crecimiento del país.

A efectos prácticos, además de lo que ya mencionamos del conocimiento como una variable explícita del desarrollo, está la conversión de COLCIENCIAS en departamento administrativo. Esto implica mayor autonomía, presencia del Director de COLCIENCIAS en el Consejo de Ministros y en el CONPES. Es decir, el Director de COLCIENCIAS va a ir directamente a defender los temas de ciencia, tecnología e innovación, presupuestos y todo lo que atañe a este Departamento. Esta nueva situación nos da la responsabilidad de ser cabeza en el sector de ciencia, tecnología e innovación. Cada uno de los ministerios y sectores desarrollará sus políticas sectoriales y cuando, en estas políticas lleguemos a los temas de ciencia, tecnología e innovación, debemos sentarnos a coordinar con ellos cómo articulamos el Plan Nacional en ciencia, tecnología e innovación. Se crean varios instrumentos en el Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e innovación y su función básica es apoyar al

Director de COLCIENCIAS en temas de política. Se crea el Consejo de Estímulos Tributarios con esa única función: trabajar el tema de estímulos tributarios, siendo uno de los estímulos más potentes que ha tenido COLCIENCIAS para el apoyo de ciencia, tecnología e innovación:

- Genera elementos de planificación, empezando a trabajar en un plan a cuatro años. Es decir, no vamos a seguir improvisando en ciencia, tecnología e innovación con planes de corto alcance, en los que se efectúen revisiones periódicas.
- Genera instrumentos de descentralización, como las entidades territoriales que también deberán construir sus instancias de ciencia, tecnología e innovación, construir sus planes de CTI, con base en los cuales las entidades territoriales y COLCIENCIAS irán al Fondo Nacional de Regalías para obtener recursos para planes regionales para este tema.

El otro instrumento es la creación del Fondo Francisco José de Caldas que será un instrumento muy útil y versátil para mejorar todo el flujo de dineros hacia actividades de ciencia, tecnología e innovación. Si bien no quedó en la Ley, todos creemos que se debería invertir más del 1% del PIB. La ley da estos elementos a COLCIENCIAS para que lleguemos a articular rápidamente cómo llegar a la meta del 1%. Hoy, la cifra que tenemos es de 0.48% en inversión del PIB. El rol de COLCIENCIAS es ser líder del sistema. Por ello tenemos que sentarnos con los demás jugadores a articular cómo va a ser el rol y el plan de ciencia y tecnología e innovación. Como les mencioné, del año 2002 al 2008, Colciencias utilizó 1.1 billones de pesos; el 75%, es decir aproximadamente \$800.000 millones de pesos, lo ha sido a través de beneficios tributarios. Éste ha sido un mecanismo potente que podemos seguir utilizando. El Fondo Francisco José de Caldas es un patrimonio autónomo, que tiene bastantes ventajas entre ellas, que puede recibir fondos de distintas índole de la nación, entes territoriales, internacionales, donaciones, etc. Su función es la de financiar programas, actividades y proyectos científicos de entidades de ciencia, tecnología e innovación. Este Fondo, que va a ser manejado con derecho privado, pretende agilizar todas las actividades de financiación del sistema, va a aumentar la parte de contratación y elimina temas como las vigencias anuales.

Objetivos del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación.

1. Incrementar la capacidad del país en la generación del conocimiento científico y tecnológico, con el propósito de mejorar la competitividad y contribuir a su transformación productiva.
2. Consolidar la Institucionalidad. Es parte de lo que estamos debatiendo hoy, cómo fortalecemos el marco, cómo nos apropiamos de la Ley y cómo fortalecemos lo que ella nos está pidiendo.

3. Fortalecer el recurso humano para investigación e innovación, con las becas del Segundo Bicentenario y con todo el programa coherente, tenemos el reto de enviar a doctorar 500 personas cada año como elemento central de este objetivo.
4. Promover la apropiación social del conocimiento. Tomar la flor del conocimiento y ponerla a disposición de todos. Como ejemplo, quiero compartirles el recorrido del aula rodante que tenemos con el SENA y con Microsoft, en la que, a través de la astronomía, acerca a toda la población a temas relacionados con la ciencia, tecnología e innovación. Hemos notado que la astronomía llama la atención y se ha vuelto un elemento que nos ayuda a que la gente se apropie de la ciencia, se acerque y la tome para sí.
5. Focalizar la acción pública en áreas estratégicas. No podemos seguir trabajando e investigando todo. Existen algunas nociones de algunos temas, debemos investigar y hacer procedimientos de análisis y de estudio permanente que nos permitan evaluar si vamos en la dirección correcta. Es más fácil para nosotros, porque contamos con tantas posibilidades de explotar y debemos decidir hacia qué lado seguir. De lo contrario, sólo lograremos avances mínimos y muy dispersos en estos esfuerzos. Este objetivo abarca los esfuerzos de articularnos con otros Ministerios, como Defensa, Agricultura, Comercio, para realizar un trabajo optimizado con respecto a la ciencia, tecnología e innovación para sumar esfuerzos en lugar de dividir, y ser mucho más contundentes.
6. Desarrollar y fortalecer las capacidades de ciencia, tecnología e innovación, fortalecer capacidades regionales, aplicando planes regionales, apoyando el Fondo Nacional de Regalías, apoyando la investigación en instituciones de Educación Básica, Media y Superior, Centros de desarrollo tecnológico e investigación. El tema de inserción internacional es un reto que hay que sacar adelante porque investigar e innovar son procesos que requieren de aprendizaje y desarrollo de capacidades.

Este es el reto. Ya contamos con el marco y con recursos, pero debemos tener en cuenta que aunque los recursos no son suficientes, hay que sacar adelante este objetivo. Este es un trabajo conjunto de las universidades, el gobierno y los empresarios.

Décima Conferencia

Resultados de las convocatorias de grupos y proyectos de investigación e innovación 2008, COLCIENCIAS.

Discusión y propuestas

Carlos Fonseca Zárate

Director de Fomento a la Investigación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, COLCIENCIAS.

Estadística global de los grupos de investigación colombianos en abril de 2009

Los 9.104 grupos registrados pueden clasificarse así:

Descripción global de los grupos en GrupLAC	Número	Porcentaje
Registrados en GrupLAC	9.104	100,0%
Inscritos a la convocatoria	5.218	57,32%
Inscritos a la convocatoria que tienen aval institucional	4.930	54,15%
Inscritos a la convocatoria que no cumplen la definición de grupo	1.729	18,99%
Inscritos a la convocatoria que cumplen la condición de grupo	3.489	38,32%

La nueva clasificación cambió completamente el esquema al que estábamos acostumbrados. Los grupos quedaron clasificados así:

Grupos Clasificados		
Categoría	Total	%
AI	135	3,87%
A	206	5,90%
B	628	18,00%
C	813	23,30%
D	1.707	48,93%
Total	3.489	100,00%

Es decir, se consolida una pirámide mucho más acorde con la experiencia internacional.

Observamos cómo se está conformando un perfil de distinción de los grupos. Existen áreas que nos preocupan muchísimo. Ciencia y tecnología del mar está en un bajo porcentaje y vamos a intensificar el esfuerzo con la Armada Nacional. En Agropecuarias debemos hacer un esfuerzo muy grande. Sin embargo, en Tecnologías de la Salud, observamos cifras dramáticas en la actual concentración. En Biotecnología y en Habitat y Ambiente se debe hacer un esfuerzo grande en crecimiento. Observamos que en Sociales predomina la cantidad de grupos de categorías bajas.

El siguiente cuadro muestra un pequeño resumen de lo que sucedió del 2004 al 2008

PROGRAMA	2004					2006					2008					
	A	B	C	R	Total	A	B	C	R	Total	A1	A	B	C	D	Total
Biotecnología	5	7	3	13	28	19	17	18	3	57	2	3	14	20	37	76
Ciencia y Tecnología de la Salud	44	48	34	41	167	127	118	85	28	358	32	44	104	103	182	465
Ciencia y Tecnología del Mar	5	5	5	7	22	19	14	9	1	43	3	3	15	12	14	47
Ciencia y Tecnologías Agropecuarias	4	4	8	37	53	34	46	50	7	137	12	10	33	47	82	184
Ciencias Básicas	51	55	34	60	200	149	104	91	20	364	28	41	97	101	162	429
Ciencias del Medio Ambiente y el Hábitat	19	16	13	40	88	74	65	47	14	200	9	12	38	66	136	261
Ciencias Sociales y Humanas	63	81	85	144	373	303	287	154	42	786	19	63	204	291	646	1223
Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad	11	13	18	15	57	54	34	49	7	144	14	11	40	47	133	245
Electrónica, Telecomunicaciones e Informática	8	18	15	16	57	38	48	38	6	130	3	12	33	63	139	250
Estudios Científicos de la Educación	12	16	14	35	77	50	56	52	6	164	4	5	33	49	147	238
Investigaciones en Energía y Minería	10	8	11	11	40	17	21	19	5	62	9	2	17	14	29	71
Total	232	271	240	419		884	810	612	139		135	206	628	813	1707	3489

Al crear un escalafón nuevo, el A1, se dio un giro a toda la relación que existía, lo que permitió corregir y congregar fuerzas, ya que estebábamos en una situación de dispersión de grupos. La clasificación de grupos nos permitió generar más potencia en investigación.

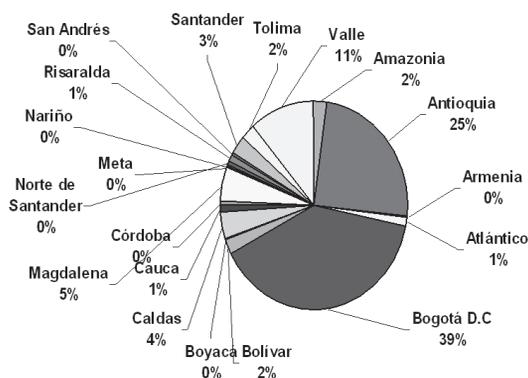
El Banco de Proyectos de Investigación que, es la nueva modalidad en COLCIENCIAS. En ella se presentan primero anteproyectos, y después de la recomendación de Pares y del Consejo, pasan a ser proyectos para analizar la posibilidad de ser elegibles y, posteriormente, financiados. En el último proceso se presentaron 1.669 proyectos, de los cuales 590 fueron los recomendados; de esos pasaron de anteproyecto a proyecto 508; los elegibles o proyectos que podrían financiarse por COLCIENCIAS fueron 281 y terminaron financiándose 112.

Programa Nacional	Total de Anteproyectos presentados	Anteproyectos Recomendados Convocatoria 475	Total de Proyectos presentados	Elegibles Convocatoria 489	Proyectos financiados
Agropecuarias	161	71	66	20	9
Biotecnología	123	58	54	38	14
Ciencias Básicas	326	161	138	87	25
Ciencias Sociales y Humanas	288	68	61	33	16
Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad	90	42	40	21	13

Educación	170	40	33	14	6
Electrónica, telecomunicaciones e informática	121	24	21	12	5
Energía y Minería	79	25	18	11	4
Mar	135	57	34	28	10
Medio Ambiente	176	44	43	17	10
Total general	1669	590	508	281	112

En COLCIENCIAS tenemos el reto en de aumentar el presupuesto para poder responder a los grupos elegibles. En los próximos meses vamos a invitar a todos los grupos de investigación y a las universidades y centros de investigación, para hacer un ejercicio fuerte, participativo, de pares, para construir un plan estratégico que nos brinde orientación. Observando la conformación de la mayoría de proyectos, en salud por ejemplo, de 63 proyectos financiados, hay 25 proyectos de Antioquia y 20 de la Universidad de Antioquia, como demostración de un esfuerzo sostenido durante más de 10 años, el cual está empezando a dar resultados. En todas las universidades del país, podemos ver la concentración. La Universidad Nacional con 40 proyectos para un 14%; la Universidad de Antioquia, que es más pequeña, con 39 proyectos para un 14%. El próximo paso que vamos a dar en COLCIENCIAS es el medir la exigencia y la eficacia de los grupos, es decir, un número de productos frente a un número de investigadores y esto también va a tener consecuencias importantes hacia el futuro.

Por departamentos, Bogotá tiene el 39%, Antioquia el 25%, el Valle el 11% y, en menor porcentaje los demás departamentos. Un reto que tenemos que lograr es que el país se homogenice un poco más en la capacidad de investigar.



Diferentes análisis y resultados de convocatorias nos indican que debemos hacer un esfuerzo muy grande en ingeniería y en salud. Cada día se están relacionando más. Debemos trabajar conjuntamente en fortalecer regiones del país que no tienen una infraestructura de investigación en el área de salud.

— Paneles y conversatorio —

Los Paneles se realizaron los días 17 y 18 de septiembre de 2009.

El primer Panel, “Generación de Ciencia, Tecnología e Innovación”, contó con la participación de Goran Wall, Profesor asociado de Chalmers University of Technology y miembro del Comité UNESCO-EOLSS; y de Rakesh Kumar Soni, Director y Profesor del Departamento de Química de la **Chaudhary Charan** Singh University. La moderación del Panel estuvo a cargo de Edgar Emir González, Director Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar “nanocitec”, Coordinador General Programa Cáncer y Nanotecnología y Profesor de la Pontificia Universidad Javeriana.

En el segundo Panel, “Gestión del Conocimiento Científico y Tecnológico”, tuvo la participación de Ronald Pérez, Vicedecano de Asuntos Académicos y Administrativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Wisconsin de EE.UU; Adnei Melges de Andrade, Director del Instituto de Electrotecnia y Energía de la Universidad de São Paulo de Brasil; y Krishna Murti Vedula, Director Ejecutivo de la IUCEE Presidente electo de IFEES y Profesor de la Universidad de Massachusetts – Lowell de EE. UU. La moderación del Panel estuvo a cargo de Marco Sanjuán, Director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte de Colombia.

El conversatorio se realizó el día viernes 18 de septiembre. En él participaron: Javier Botero, Rector de la Escuela Colombiana de Ingeniería; Carlos Felipe Londoño, Rector de la Escuela de Ingeniería de Antioquía; Luis Alberto Ordoñez, Director de la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla; Carlos Angulo Galvis, Rector de la Universidad de los Andes; Francisco Piedrahita Plata, Rector de la Universidad ICESI; Luis Ovidio Galvis, Gerente de Biosgeos Research Corporation; y Vicente Albéniz Laclaustra, Director del Departamento de Ciencias Naturales de Escuela Colombiana de Ingeniería.

Primer Panel

Generación de ciencia tecnología e innovación

Participantes:

Rakesh Kumar Soni, Goran Wall

Moderador:

Edgar Emir González

¿Qué áreas de C+T+I deberían fortalecerse prioritariamente en Colombia, para hacer frente a las necesidades del país, en un contexto de competitividad y globalización?

Goran Wall

No es posible comparar todas las clases de ciencia. Lo importante es dar buen uso a la ciencia. Recuerden que la mayoría de las veces, la ciencia es usada para desarrollar nuevas armas, infinidad de armas. La ciencia debe activarse teniendo en cuenta el respeto al otro, el respeto a la naturaleza. No se trata de crear vida, la naturaleza está viva, y ante esto debemos rendirnos, porque de hecho es nuestra mejor amiga. Pero nosotros creemos que es el hombre quien está a cargo de todo.

Por lo que he percibido, el nivel de educación y la cantidad de maestrías y doctorados en Colombia no son tan altos, no se han incrementado tanto como creemos. No quiero decir que estén mal; pero no es suficiente para el futuro que tiene Colombia. Pueden poner más recursos, más de lo que tienen en la educación de su gente, para que en un futuro los mayores recursos no sólo sean el carbón y el petróleo. La primera vez que vine a Colombia dije a las autoridades de Suecia: “estoy invitado a Colombia, ¿puedo ir?”. La respuesta fue: “no puede, es muy peligroso”. No escuché a las autoridades, vine y me di cuenta que el más grande recurso de este país es su propia gente y, en particular, la gente joven y también los indígenas, que son gente buena e interesante, que manejan bien los recursos y lo han hecho desde hace mucho tiempo y saben cómo hacerlo. ¡Escúchenlos! En las Naciones Unidas, en particular en la UNESCO, una de las mayores preocupaciones está relacionada con el conocimiento indígena ¡Hagan uso de este conocimiento!

La clase de vida que ustedes tienen es muy hermosa. Cuba es un buen ejemplo de lo que se puede hacer. Ellos fueron forzados, sin ninguna disciplina tomada de libro, a desarrollar un excelente sistema de educación, un excelente sistema de salud. Pero no pueden estar esperando que alguien les fuerce a hacer esto. Hagan eso antes de que el petróleo se haya acabado, antes de que el ambiente se haya deteriorado demasiado.

Este es el momento, porque ustedes tienen raíces que no encontrarán en otros lugares. Deben desarrollar los recursos que nosotros hemos perdido y, en lo único que quizá les podamos prestar ayuda, es en la creación de un futuro sostenible.

Rakesh Kumar Soni

Ustedes saben muy bien que muchas de las recientes publicaciones de ciencias se han desarrollado en campos como éste. Me gustaría enfatizar en una publicación que vi ayer, sobre la biomasa forestal. Colombia está cubierta por una gran riqueza forestal y ésta se puede convertir en una nueva forma de recurso energético. Con este ejemplo podrán descubrir que hay nuevas y recientes publicaciones que no están siendo dadas a conocer a nuestras facultades de ingeniería.

Debemos concentrarnos en las áreas de desarrollo de nanotecnología, biotecnología y en un área que tiene que ver con nuevos recursos renovables de energía, como la energía solar a partir de la biomasa. Si utilizan medio kilogramo de biomasa, se puede producir energía similar a la que resulta de usar 1 ½ kilogramos de carbón. También pueden trabajar en áreas como la energía eólica. Esta clase de energía puede producir 95 MW, pero sólo se están produciendo alrededor de 5 MW: menos del 10%. Es decir, casi no se está haciendo uso de este recurso. Ahí tenemos un gran potencial. En cuanto a energía renovable, hay dos posibles focos de atención en el área rural de Colombia, donde sólo el 55% cuenta con energía eléctrica; así que debemos concentrarnos en iluminar el resto.

¿De qué factores concretos depende que la innovación tenga un verdadero impacto social y económico?

Rakesh Kumar Soni

El avance socioeconómico y su impacto pueden ser evaluados observando aspectos como los siguientes: ¿cuáles son las condiciones de salud de los ciudadanos?; ¿cuáles son las oportunidades de empleo disponibles?; ¿qué tan lejos se está de erradicar la pobreza?

Asimismo, hay que entender las consecuencias de la distribución de la tierra y su impacto en el ambiente. Al mismo tiempo, se debe recordar la responsabilidad de preservar nuestro ambiente. Hablando de la salud, en los países en vías de desarrollo la mayoría de enfermedades son causadas por la falta de agua. No tenemos acceso a agua pura; así que debemos tratar de desarrollar tecnologías tales que permitan que, en cada lugar del país, pueda haber agua pura disponible.

Acerca de las oportunidades de empleo, en Colombia la tasa desempleo no es muy alta, están alrededor del 10%. Esto puede solucionarse muy fácilmente, desarrollando

un buen programa de trabajo garantizado. El desempleo es creado por el cierre de la industria; y si la industria cierra, es porque no hay un buen desarrollo en ciencia y tecnología. Por tanto, la parte intelectual es la responsable de proveer avance tecnológico y científico con el objetivo de proteger el ambiente, el subsuelo, porque cuando una industria cierra se comienzan a desechar químicos y productos nocivos para el ambiente en las áreas rurales. Así que debemos tratar de hacer cosas en pro del desarrollo de la industria para que ésta no cierre.

Hablemos ahora de otros factores clave, como la seguridad social, la cual debe tener un programa de desarrollo, incluyendo alguna clase de mercadeo. Pero lo más importante es que produzca beneficios apropiados para los diferentes niveles sociales, que pueda competir en todo nivel con la industria avanzada. Debemos enseñar a cada ciudadano de nuestro país el deber de que todos somos responsables de nuestro ambiente, desde el principio. En India enseñamos una materia sobre el ambiente, desde la primera clase, en la cual se hace ver que cada uno es responsable de proteger el ambiente. Este tipo de asuntos deben ser incluidos en nuestros currículos para entender nuestra responsabilidad con el ambiente. Si ustedes quieren tener un impacto en el avance de la ciencia y la tecnología, debe permitirse a los estratos con menos ingresos empezar a trabajar en este tipo de cosas, como programas de empleo, mejoramiento de la educación, mejoramiento del agua y accesibilidad del agua pura para todos. Estos objetivos sólo pueden ser alcanzados a través del desarrollo de la ciencia y la tecnología. Es claro que el impacto socioeconómico está mucho más en las manos de políticas serias de gobierno, en las que se involucre desarrollo tecnológico.

Goran Wall

Por supuesto, ustedes deben poner estos temas en su currículo, pues lo más interesante de los estudiantes es que a ellos no les toma demasiado tiempo volverse más inteligentes que sus profesores. Si ustedes no confían en la juventud, no tenemos nada que hacer. De hecho, ellos desarrollan sus propias y apropiadas preguntas. Se trata de un problema de confianza. Nosotros tenemos el poder de hacer esto: como profesores de las universidades estamos a cargo de los currículos y sólo el currículo puede hacerlo posible. Porque si nosotros continuamos educando estudiantes para que lleven a cabo un desarrollo insostenible, ellos lo harán. Yo he hecho varias propuestas concernientes al hecho de encontrar nuevos recursos energéticos. Imaginen que pudiéramos solucionar un problema futuro, pero que no tenemos recursos energéticos, ¿podríamos solucionar este problema entonces? Yo voy en sentido contrario. Creo que la catástrofe será eminente, porque nosotros no tenemos límites en los intentos que hacemos para lograr destruir nuestro planeta. Tenemos que empezar a darnos cuenta de que la naturaleza es un sistema vivo que tenemos que cuidar, y el primer paso es enseñar a nuestros estudiantes este hecho.

Segundo Panel

Gestión del conocimiento científico y tecnológico

Participantes:

Krishna Murti Vedula, Adnei Melges de Andrade y Ronald Pérez.

Moderador:

Marco Sanjuan

¿Qué estructuras académicas, en las facultades de ingeniería, son las que ustedes consideran más apropiadas para la gestión del conocimiento, y para promover la innovación en Colombia?

Krishna Murti Vedula

En realidad, no sé mucho de Colombia. Yo esperarí que ustedes trataran de hacer algo nuevo para contribuir al desarrollo de Colombia, porque cada país desarrolla propuestas distintas para el tema de la innovación. Si pregunto ¿qué significa para ustedes innovación? Creo que probablemente obtendría 200 respuestas distintas.

No creo que nadie tenga claro qué es innovación y cuál es la conexión existente entre la innovación y la educación en ingeniería. Es algo que ustedes tendrán que examinar. Lo que a mí me gustaría hacer es centrarme un poco en este punto, porque, incluso en los Estados Unidos, las cualidades de nuestra ingeniería no están involucradas en la dirección correcta. Ésta es una oportunidad para las facultades de ingeniería de Colombia para ir en la dirección correcta, no se limiten a copiar lo que estamos haciendo en los Estados Unidos. Nosotros estamos cometiendo demasiados errores en nuestro sistema de educación en ingeniería.

Considero que los ingenieros deben ser los creadores de cosas nuevas; los científicos tratan de entender la naturaleza. Física química biología y matemáticas son las herramientas que nosotros utilizamos para cuantificar lo que la naturaleza es. Los ingenieros usan el conocimiento para crear cosas nuevas que se usan para satisfacer las necesidades de la gente, en este caso las de la gente en Colombia. Si sus graduados se dedicasen a crear cosas nuevas para satisfacer las necesidades de la gente en India, habría alguna diferencia relacionada con el problema del entorno. Ustedes deben tener el talento de la ingeniería, creando cosas nuevas, rompiendo las limitaciones. Ya se haga ciencia por los ingenieros, los físicos o los químicos, ésta la primera tarea de la ingeniería: crear cosas nuevas; lo cual significa abrirse en la profesión. No hay una fórmula mágica. En algunas facultades tratan de darles a sus estudiantes una fórmula,

y se les ve por allí, desde la mitad hasta el final del semestre preguntando cuál es la respuesta para usar la fórmula. Los problemas reales en la vida están abiertos, no tienen la fórmula y nosotros debemos encontrar en nuestras facultades de ingeniería la forma de darles a nuestros estudiantes la idea de pensar en el proceso, darles indicaciones para tratar con problemas abiertos y cerrados que no tienen respuestas. La dificultad de sus procesos no pasa de ser un pequeño ejemplo, lo que significa que ni siquiera la facultad tiene las respuestas.

Hay que trabajar entre departamentos, incluso con las humanidades, trabajar juntos en la solución de problemas, tal vez utilizando proyectos interdisciplinarios, del mundo real, que estén basados en el proceso de la ingeniería. ¿Pero cuál es el proceso de la ingeniería? La ingeniería es ensayo y error; la ingeniería no es la respuesta. ¿Qué es ensayo y error? Basado en la aplicación de la física, química con todas sus limitaciones, ensayo y error es, por ejemplo, cuando ustedes están en un nuevo proyecto y diseñan un prototipo. Resulta que no funciona, y diseñan otro de nuevo. Miran si funciona y continúan. En este proceso van aprendiendo de su funcionamiento, porque están aprendiendo y encontrando nuevos métodos con el error.

Otra forma de hacer ingeniería es “concentrarse en la habilidad”. La ingeniería en algún sentido es habilidad. El mundo real de la ingeniería es la habilidad. La gente inteligente se concentra en las habilidades, así tratan de mantener las cosas bajo control. Permitan a los estudiantes crear una clase de estructura que trate con esas nuevas cosas; después, ellos aprenderán cómo ir en busca de otros usos. El resultado es la innovación.

¿Qué es innovación? Es el desarrollo de nuevas soluciones a problemas abiertos. Pienso en mi definición de innovación y trato de compararla con invención. Innovación e invención, ¿son lo mismo? No, no lo son. Invención es diferente a innovación. Entonces ¿cuál es la diferencia entre las dos? Por ejemplo, ¿qué significa que el estudiante está tratando de inventar algo?, y ¿qué significa que está innovando? Piensen en la diferencia entre inventar e innovar. Tomen algo que está ahí y creativamente denle una forma más efectiva de uso para la gente. Puede pensarse en que sea fácil, o que sea económico. Los ingenieros que diseñan cosas para ser vendidas, deben tener en cuenta las señales propias de los negocios, cómo financiarlas, cómo se adaptan y cómo se protege el medio ambiente, cuáles son las dimensiones del producto (pensar en las especificaciones técnicas). Éstas son las cosas que un ingeniero debe hacer.

Quiero darles un ejemplo: los celulares. Los teléfonos se han innovado enormemente. Innovar los celulares es un gran trabajo. El primer celular que tuve lo usé en los Estados Unidos y por él debía pagar 50 dólares al mes. En India encontraron la manera de innovar la forma de usarlos, porque las personas más pobres de India pueden utilizar el mismo teléfono pagando menos de un dólar por mes, por el mismo teléfono.

Innovaron la forma en que los pobres accedieran al servicio. Eso es innovación, tomar algo para un uso particular.

Acerca de la estructura académica tengo que hacer un *feedback* (repasso). Tal vez motivar más la interacción entre la ingeniería y la ciencia y las humanidades; meter a los estudiantes desde el principio en pequeños proyectos del mundo real. Sé que es difícil de hacer; pero ustedes, primero que todo, son quienes deben generar el cambio en la dirección correcta, porque son los administradores de esos nuevos recursos que son los jóvenes ingenieros, y les tienen que guiar para que enfrenten los nuevos retos que el futuro trae en este campo.

Adnei Melges de Andrade

Debo responder: ¡no sé! Tampoco lo sé para Brasil. Y por varias buenas razones. Cada institución tiene su propia cultura. La impregnación de esa cultura es muy difícil de cambiar. Lo que yo les puedo decir es que algunas reglas pueden ser absorbidas para mejorar la situación, lo que les diré es algo de lo que yo he experimentado en mi vida académica, algunas reglas básicas a tener en cuenta para tener un buen nivel de innovación, como lo ha definido mi colega el profesor Vedula. Innovación es algo que es nuevo. Algo que no ha sido hecho en su país, también puede ser innovación. Innovar es empezar a pensar desde el principio en tener un ambiente académico de libertad. Sin esto no podemos hacer demasiado.

Si no tenemos la forma de hacer innovación e investigación, otra posibilidad es tener una buena estrategia de laboratorio de buena calidad. Esto implica mucho más de lo que podemos hacer nosotros en ingeniería, porque depende de una política fiscal. Yo no puedo imaginar que ustedes en Colombia tengan los mismos problemas que nosotros. En Brasil todas las universidades, incluso la Universidad de Sao Paulo, necesitan dos millones de dólares por periodo que no puede financiar. Así que buscamos y conseguimos agencias de patrocinio, ayuda de las industrias que dan una buena contribución para el desarrollo del laboratorio de investigación. Si ustedes no tienen una política gubernamental que los ayude a hacer un desarrollo tecnológico de alta calidad, es muy difícil enfrentar el problema.

Para entrar un poco más en detalles relacionados en cómo tener un mejor desarrollo en innovación, tenemos que evitar algunas trampas. Cuando hablo de una trampa, de cuál es la trampa para el ingeniero, significa tratar de resolver cualquier problema por sí mismo. Las escuelas de ingeniería no pueden permitirse caer en esa trampa. Necesitamos la colaboración de químicos, físicos... En mi investigación, por ejemplo, trabajé con el doctor Simmon Palmer. ¿Qué hice yo? Desarrollé los dispositivos, hice la investigación para esos dispositivos electrónicos. Yo trabajo para el departamento de electroingeniería de la Escuela Politécnica de Sao Paulo. Pero yo no hubiera

podido hacer nada si no hubiera tenido la ayuda de un químico, en el desarrollo de estos dispositivos. Lo que quiero decirles, como resumen, es que es posible tener en cualquier facultad de ingeniería la colaboración de otros departamentos, como por ejemplo, en mi caso, del departamento de química. No podemos caer en la trampa de pretender resolverlo todo nosotros solos. Los ingenieros electrónicos hoy deben trabajar junto con los químicos, los físicos y los biólogos. Se han desarrollado profundas investigaciones en el campo de la tecnología. Podemos observar también que la interdisciplinariedad, entre algunas áreas, produce mejores resultados. Tenemos que evitar el radicalismo en las áreas y el corporativismo.

Es un hecho problemático creer que nosotros estamos en el monte del Olimpo y que no podemos con la gente, Éste es un gran problema; esto pasa con la gente de la industria que está muy lejos de nosotros. Podemos hacer buena ciencia, podemos publicar documentos; pero si no llegamos al producto final, esto significará muy poco para la industria. Esa es nuestra culpa: no ir hasta el final. Tenemos que reducir esta clase de situaciones.

Una posibilidad directa es ingeniar una clase de desarrollo tecnológico dentro de las escuelas de ingeniería. Pueden tener en cuenta, parte de nuestra experiencia en Brasil: que es crear una clase de becas para los investigadores. Nuestro consejo nacional de investigación es quien aprueba si nosotros recibimos algún dinero, alrededor de 500 o 600 dólares americanos por mes, libres de impuestos, lo cual es bueno. No es una gran cantidad de dinero, pero es parte del proyecto de investigación. Pero si no llega al final señalado, no hay ningún problema: usted no es elegible para obtener una buena suma de dinero para un propósito específico, en este caso su investigación. Cada tres años el investigador es evaluado y si no ha hecho publicaciones acerca su trabajo o no ha mostrado resultados, es retirado del sistema de investigación. Si no mostramos cada tres años resultados de nuestras publicaciones, es una falla. Si tenemos un contrato por 4 horas, recibimos un salario completo, pero la gente se asusta de tener en lugar de 20 horas por semana solo 12 horas por semana lo cual es virtualmente una falla. Este es el concepto de productividad en nuestro país. Por supuesto, los investigadores no pelean con esto, porque en sí es la forma que tiene el sistema de evaluar. Yo no sé si ustedes tienen una situación similar en Colombia; pero en nuestro caso, los resultados han empezado a aparecer tras la implantación del sistema y de tales reglas.

Ronald Pérez

Primero que todo, es necesario decir que, para promover la innovación, es importante promover el trabajo interdisciplinario. Por lo tanto, el verdadero significado de la pregunta es cómo promover el trabajo interdisciplinar. La mayoría de universidades, incluso mi Universidad, tiene una estructura tradicional: tenemos el departamento

de ingeniería civil, el departamento ingeniería electrónica, un departamento de ingeniería industrial y manufactura, ingeniería mecánica. Lo que hemos hecho es tratar de mantener la independencia de cada uno, pero hemos creado programas, tales como el programa de energía, cuyo objetivo es el uso eficiente la energía en cada una de las cosas que necesitan de la energía. Si miramos bien, es un tema que involucra en buena medida a todos los departamentos de ingeniería.

Abriendo un poco más los *syllabus*, hemos tratado de llevar a cabo los objetivos de dichos programas entre estos departamentos. Con el objetivo de ser efectivos, promovemos el comportamiento interdisciplinar, descomponiendo la situación en dos componentes: el componente de la facultad y el componente del currículo; en los dos tenemos que trabajar, con el objetivo de tener impacto.

En el componente de la facultad se tiene que realinear el sistema de trabajo para promover la innovación. Los miembros de la facultad son los encargados de crear buenos criterios que apunten al mejoramiento de la innovación. Ellos tienen muchas vías de mejorar, de acuerdo a estos criterios. Necesitamos ser serios al promover la innovación; necesitamos que la facultad entienda la necesidad de desarrollarse en este campo, ya que con ese entendimiento el proceso será recompensado. Pero no es un proceso simple, porque depende de la clase de institución, pues en ocasiones, existen algunos procesos que pueden involucrar algunas políticas. Pero si ustedes quieren resolver el problema, tendrán que ser avalados por la universidad que está siendo innovada.

La otra parte debe poder resolver la forma de cómo liberar un poco o reasignar la tarea de la enseñanza o reasignar el tiempo de trabajo. De esta forma, nosotros los docentes tendremos más tiempo para crear, para buscar formas de estar innovando, tendremos más tiempo de buscar recursos y hacer transferencia tecnológica con la industria.

Otra opción es la facultad de desarrollo. Si se quiere involucrar y trabajar con esta idea y hacer que la facultad sea más creativa e innovadora, se tiene que pensar en qué tienen que hacer los miembros de la facultad. Hay que proveer de oportunidades de desarrollo, a todos aquellos que atienden o hacen conferencias, talleres, o que están haciendo el esfuerzo de obtener una maestría o un doctorado. En ocasiones es difícil hacerlo con todos, pero la universidad debe perseguir esto.

Finalmente, si ustedes se quieren mantenerse proyectando, tienen que ser muy selectivos y específicos en la clase de miembros que su facultad promueve, porque todo el tiempo la facultad va a estar trabajando con ellos todo el tiempo. Van a estar construyendo hoy la nueva generación de miembros de la facultad. Para ir adelante

deben ser cuidadosos con los criterios de selección que se aplicaran para recibir a los miembros de la facultad.

Por parte del currículo, necesitan poder establecer cursos interdisciplinarios. La mayoría de carreras tiene unos cursos específicos que los estudiantes deben tomar; deben tenerse unos cursos de electivas técnicas. Pero ustedes necesitan encontrar la forma de crear cursos interdisciplinarios. En mi Universidad, en cada departamento, existen algunos cursos esenciales, y cada uno es enseñado por los seis departamentos.

Lo importante allí es ver que en la parte del currículo existe la libertad de ver algunos cursos, de moverse de un lado a otro. No quiero sugerir que cada estudiante tenga un programa diferente de estudio; pero sí una flexibilidad que permita a los estudiantes tener la elección de tomar cursos relacionados con electrónica e ingeniería informática, que puedan hacer por ejemplo, ingeniería electrónica con ingeniería mecánica, etc. Ellos pueden tener la libertad de cursar las electivas técnicas que ellos deseen. Esa es una forma verdadera de transformar el currículo, creando programas que ofrezcan al estudiante la oportunidad de escoger qué quiere continuar haciendo.

Marco Sanjuan

Quisiera centrarme en algunos de los puntos que se han tratado aquí, o en algunas frases dichas por los panelistas. Basado en la estructura académica, quiero hacer dos preguntas: *¿Es posible esperar la innovación por parte de los estudiantes aun no graduados, o es algo que debemos esperar sólo de los que están siendo ya graduados de maestrías y doctorados? ¿Realizaremos programas que necesariamente enfrenten los retos actuales?* Quiero decir: la mayoría de expertos están de acuerdo en afirmar que los programas multidisciplinarios son la forma; necesitamos trabajar con la biología, la física, la química, permitir a los estudiantes que inician su carrera, decidir y hacer parte de la construcción de su currículo. Hacer esto para obtener un mayor nivel más profesional de los cursos, porque realmente esperamos que sea la multidisciplinariedad de los programas lo que permita mantener un alto nivel profesional. Esto no es solo un requerimiento científico, es un requerimiento para ser profesional.

¿Qué aspectos específicos de la gestión del conocimiento pueden ser mejorados y causar impacto en las escuelas de ingeniería con vista al desarrollo de este país?

Krishna Murti Vedula

Para hablar de diferentes aspectos del funcionamiento de una institución académica en relación con la gestión del conocimiento, permítanme señalar tres tipos de actividades del conocimiento que nuestra universidad hace.

La primera es la creación de conocimiento. Se trata de tener en cuenta una buena forma de crear conocimiento, por ejemplo trabajando como lo hacen las personas que investigan, y que tiene que ver con crear espacios, como maestrías y estudios de doctorado, que permitan crear conocimiento. Esto es muy importante.

La segunda es la transformación del conocimiento. Se trata de tener la capacidad de transformar el conocimiento, y de los aspectos de la transformación del conocimiento en los estudiantes. Si enseñamos a los estudiantes lo que sabemos acerca de la transformación del conocimiento, les estaremos ayudando a usar su conocimiento basado en esto. A veces la transformación del conocimiento involucra trabajar con la sociedad o la industria, transformar el conocimiento en beneficio de la producción y del comercio de algunos productos.

La tercera es la aplicación del conocimiento. Se trata de ver cómo aplicar el conocimiento. Esto es una parte importante de lo que hacen los profesores de la universidad, que es tomar una pequeña pieza de conocimiento y aplicarla a las necesidades de la sociedad, a las necesidades comerciales. Pero el uso en estas áreas, depende de la clase institución que ustedes sean. Mi opinión es que, en la mayoría de las facultades de ingeniería, tienen que usar la aplicación del conocimiento y la transferencia del mismo. Por ejemplo, en los Estados Unidos hay instituciones de investigación, que están centradas en la creación de conocimiento, programas de doctorado de creación de conocimiento; y, en mi opinión, estamos muy lejos de estas instituciones, que tienen énfasis en investigación en ingeniería investigativa. Tendremos que sacrificar un poco de la transferencia del conocimiento y de la aplicación, para emplear, en esencia, la ingeniería. Pero no estaremos entrenando a los futuros ingenieros apropiadamente para problemas del mundo real.

Las universidades deben encontrar un buen balance entre educar en investigación y ayudar a que nuestros graduados tengan un buen trabajo. Porque no siempre nuestra universidad puede estar haciendo propuestas sólo de investigación, también hay que pensar en aplicar esto a la situación real y ayudar a los estudiantes a aplicar su conocimiento. Algunas instituciones tienen un muy buen balance entre investigación y aplicación del conocimiento, pues han creado pequeños programas de tecnología. Esto ayuda las universidades a crear conocimiento y a aplicar conocimiento con ayuda de pequeños capitales o pequeños negocios que reciben el respaldo de pequeñas compañías que les ayudan a innovar.

Yo creo que estos son los elementos de la gestión del conocimiento. Con esta perspectiva, muchas instituciones de Colombia podrían mirar cómo establecer un balance, una estrategia que permita manejar el conocimiento y aportar soluciones a las necesidades económicas del país.

Adnei Melges de Andrade

En mi opinión, la mejor forma de causar impacto es preparar buenos ingenieros. Ahora la pregunta es: ¿cómo hacerlo? La respuesta es muy compleja, pero hemos de tener excelente calidad de ingeniería con altos niveles de estándares para la enseñanza. Es la única forma que tenemos de preparar ingenieros competentes, gente que sea creativa. No hay forma de causar impacto sin hacer esto.

Quiero presentar algunas posibilidades. En primer lugar, debemos hacer una buena selección de estudiantes. Tenemos que entender que no todos los chicos pueden ser buenos ingenieros. Quien no tiene buena motivación, nunca será un buen ingeniero. Por lo tanto tenemos que empezar haciendo una buena selección.

Debemos tener un excelente diseño curricular que esté siendo revisado continuamente. Mi colega, el Profesor Vedula, nos impactó cuando dijo en su presentación, *“nosotros estamos preparando ingenieros para el siglo XXI con un currículo del siglo pasado”*. Todos nosotros nacimos en el siglo pasado; no todos somos muy viejos, pero todos somos del siglo pasado, y nos corresponde a nosotros cambiar ese currículo. La mayoría de las universidades no cambia el currículo durante nueve o diez años. Desde que inició el siglo, no han el cambiado el currículo. No vamos a criticar las escuelas de ingeniería del siglo XX, porque tradicionalmente han sido buenas; pero sí hemos de tener un currículo actualizado. Además de hacer un buen proceso de selección y de diseñar un buen currículo, tenemos que motivar a los estudiantes. Motivar a los estudiantes es muy importante para poder adoptar un proyecto basado en el aprendizaje, porque así los estudiantes sienten que ellos solucionan problemas. Los proyectos basados en el aprendizaje son algo que está siendo adoptado en muchas escuelas de ingeniería actualmente. Tenemos que estimular a los estudiantes a formar parte en las investigaciones. Si podemos obtener recursos para dar becas, lo van a agradecer.

Otra cosa que probamos es hacer que los estudiantes hagan parte de su formación en el extranjero, para aprender nuevas culturas, para manejar nuevos idiomas. Esto es importante para la comunicación. Por supuesto, son importantes todos los medios de comunicación disponibles, pero la comunicación personal no es tan fácil. La Internet contiene casi todos los conocimientos de la humanidad, pero no todos están en el idioma que nosotros entendemos. Por eso es muy importante que los estudiantes tengan oportunidad de hacer parte de su formación en otro país.

Creo que éstas son algunas de las sugerencias que podemos hacer. Verán que la respuesta es esta: tenemos que preparar ingenieros competentes, conseguir ingenieros creativos; eso es todo para las escuelas de ingeniería.

Ronald Pérez

Creo que lo más importante es conseguir que la universidad tenga una misión centrada en la transferencia del conocimiento. No todas las universidades tienen la misión de liderar la transferencia de conocimiento. No quiero con mis comentarios apretar a las universidades, pero pienso que muy pocas universidades tienen esta visión pues dependen de un presupuesto.

Deben crear su propia infraestructura de acuerdo al nivel de la universidad, para poder hacer la transferencia de conocimiento a la sociedad. Una oficina importante es la de transferencia de tecnología. Puede sonar obvio, pero debemos tener una oficina de transferencia tecnológica. Nosotros la tenemos en la Universidad de Wisconsin Milwaukee. El trabajo de esta oficina es el manejo de la propiedad intelectual que está siendo desarrollada por la Universidad: manejar la propiedad intelectual de la transferencia tecnológica que se está haciendo a la industria o a la sociedad.

Para promover la creación, o para iniciar empresas, es necesario generar capital humano. Cuando estas empresas empiezan, lo hacen observando cómo conseguir empleos de calidad, persiguen la ciencia tecnológica. Entonces generan trabajos en la manufactura de lo que la compañía está produciendo. Esa transferencia tecnológica que se está haciendo con la empresa ayuda a la negociación de contratos.

Otra parte de la infraestructura es tener una oficina que maneje la industria o los contactos con la industria directamente, desde un solo lugar. Porque si quieren tener negociaciones con la industria, será fácil resolver inconvenientes sin involucrar otros estamentos. En mi Universidad, esta oficina pertenece al departamento ingeniería mecánica. Es allí donde las negociaciones se hacen directamente con el jefe encargado de dicha oficina. Así, se garantiza que dicha compañía vuelva a interesarse por lo que ofrece la universidad. Lo que esto significa es que se da solución a sus necesidades.

Otra modalidad es crear una oficina de relaciones industriales de la facultad de ingeniería, lo que significa que cualquiera que necesite asesoría tecnológica puede contactarse directamente con la persona o con el director encargado de esta oficina. Esta persona es quien agiliza todos los trámites para que el proceso se lleve a cabo. Como respaldo para la oficina de relaciones industriales, fue creado el Instituto para la Innovación Industrial, el cual provee de toda una infraestructura que conduce a realizar investigaciones interdisciplinarias. Los proyectos disciplinares existen en cada departamento de la universidad, pero es el Instituto de Innovación Industrial el que genera todo esto.

Finalmente, la pieza final de la infraestructura es crear una oficina que pueda realinear el currículo y su misión hacia la transferencia tecnológica, que permita a los estudian-

tes llevar a cabo sus proyectos y obtener oportunidades en las industrias, que pueda organizar y escoger a aquellos estudiantes que puedan ser solicitados para trabajar con dichas industrias. En la mayoría de las universidades, el intercambio es parte del currículo. Esto motiva los estudiantes. Por ejemplo, el 81% los estudiantes ha sido voluntario para ciertos trabajos. La razón es que el currículo se sustenta en la idea de que no tenemos suficientes créditos. Es opcional, pero efectivo, ya que permite a los estudiantes vivir una experiencia del lado de la industria. Estos estudiantes cuando vuelven a la universidad, pueden tener una mejor perspectiva, una mejor apreciación de lo que es la ingeniería. Empiezan a conectarse con algunos datos y comienzan a pensar en el porqué del diseño de esta máquina o cómo se podría diseñar este proceso, porque miran como puede ser aplicado en el escenario industrial.

La misión de la universidad es comprometer a las industrias con el objetivo de tener éxito. Ustedes deben tener una forma de medir el progreso, porque si se quedan esperando, es como tener un servicio dormido donde cada quien diga “yo quiero hacer”, pero donde al final del día nada ha pasado. No sugerimos realizar esto en un proceso rápido, pero al menos crear una o dos al año. Alguien puede liderarlo, y se puede realizar; pero obviamente los recursos deben ser puestos en primer lugar en algún lado de la misión de la universidad, más que en la transferencia tecnológica de las facultades.

Mesas de Trabajo

Las Mesas de Trabajo organizadas en el seno de la Reunión Nacional, tuvieron como finalidad reflexionar sobre los modos como deben evolucionar las propuestas curriculares y las estructuras académicas en ingeniería, para promover la formación de profesionales creativos que innoven y propongan soluciones para el desarrollo del país.

Para alcanzar los objetivos planteados, el trabajo de las mesas se desarrolló de acuerdo a las siguientes preguntas:

- ¿Hacia dónde y cómo deben evolucionar las propuestas curriculares en ingeniería para que promuevan la formación de profesionales con capacidad de crear, innovar y proponer soluciones en las áreas prioritarias de desarrollo para Colombia?
- ¿Qué estructura académica considera más adecuada, en las facultades de ingeniería, desde el punto de vista de la gestión del conocimiento, para promover la innovación y la competitividad en el país?

A continuación, se presentan los informes elaborados por dichas Mesas, que estuvieron coordinadas por Dora Angela Hoyos, Jefe del Centro de Investigaciones y Coordinadora de Posgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Jaime Salazar Contreras, Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá; y Julián Echeverry Correa, Profesor Investigador del Programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Mesa de Trabajo Número I

Moderador:

Julián David Echeverry Correa
Universidad Tecnológica de Pereira.

En esta mesa de trabajo se realizó un intercambio de opiniones en cuanto a las preguntas planteadas y se llegó a la elaboración de algunas conclusiones.

El grupo de asistentes se dividió en dos subgrupos.

El primer subgrupo discutió alrededor de la siguiente pregunta: ¿Hacia dónde y cómo deben evolucionar las propuestas curriculares en ingeniería para que promuevan la formación de profesionales con capacidad de crear, innovar y proponer soluciones efectivas en las áreas prioritarias de desarrollo para Colombia?

Se inició la discusión con una evaluación de los propuestas curriculares actuales y con una mirada desde adentro hacia afuera, de las facultades. Se realizó una evaluación preliminar, acompañada de una visión general, a los currículos de ingeniería de las universidades participantes, con el fin de establecer la línea base y determinar las direcciones en las cuales deberían apuntar las nuevas propuestas curriculares. Esta mirada hacia adentro permitió identificar diferentes falencias concentradas principalmente en el campo de la docencia y en el campo de los programas.

En cuanto a los docentes, se concentran falencias como su falta de preparación pedagógica, con el correspondiente efecto en la transmisión del conocimiento, la falta de innovación de los mismos docentes, la incapacidad de articular conocimientos entre diferentes asignaturas y la falta de comunicación entre profesores de áreas afines con el fin de realizar integración de proyectos entre asignaturas.

En cuanto a deficiencias en los programas de Ingeniería, se subrayó la reducción de semestres (carreras de 4 años) sin tener en cuenta el aumento de calidad. La reducción del tiempo de carrera no permite introducir créditos que permitan generar innovación o propuestas de proyectos integradores. De igual forma, en los programas de Ingeniería se carga en exceso a los estudiantes con conocimientos en ciencias básicas, pero no se presenta un panorama de los problemas regionales o locales, siendo esto fundamental para formar un profesional con capacidad de proponer soluciones efectivas en áreas prioritarias para el país.

Siendo éstas las principales críticas aportadas a la situación curricular actual, la mesa de trabajo se dispuso a discutir posibles soluciones y a buscar caminos de

evolución en las propuestas curriculares. Entre las propuestas planteadas se cuentan las siguientes:

- Generar una mejor y mayor articulación entre las materias de las carreras, de manera que se posibilite al estudiante ampliar los campos de aplicación de sus conocimientos y aplicar metodologías de aprendizaje transversales en su formación. Elaborar e implementar currículos que promuevan en los estudiantes un mayor conocimiento y conciencia del entorno y de los problemas regionales y que les permitan identificar las áreas de los ámbitos investigativo, empresarial o industrial, sobre las cuales pueden influir mediante la aplicación de sus conocimientos.
- Desarrollar proyectos integradores en los últimos semestres de la carrera, de manera que se involucren varias asignaturas para alcanzar objetivos comunes. De esta forma se mejoraría la comunicación entre los profesores, se articularían los saberes y se lograría que el estudiante generara innovación, creara y propusiera soluciones efectivas para el proyecto que está desarrollando, todo visto desde diferentes enfoques lo que permitiría discernir y aportar diversos puntos de vista.
- Continuar ACOFI con los talleres regionales en formación de los docentes de ingeniería en el área de pedagogía, de modo que se pueda cambiar la metodología que se practica actualmente para abordar los problemas, con el fin de que sean articulados y desarrollados de manera transversal.

El segundo subgrupo trabajó alrededor de la pregunta: ¿Qué estructura académica considera más adecuada, en las facultades de ingeniería, desde el punto de vista de la gestión del conocimiento, para promover la innovación y la competitividad en el país?

De igual forma se inició la discusión con una evaluación de las estructuras académicas actuales y con una mirada desde afuera hacia el interior de nuestras facultades. Como primer punto de discusión se reconoció que el currículo, como elemento fundamental de cualquier estructura académica, está actualmente relegado a un papel secundario y pierde toda correlación con los demás elementos de la academia que permiten formar profesionales integrales como son la innovación, la proyección social y la competitividad, entre otros.

Otro de los puntos tratados y reconocido como problema actual es la falta de inclusión y articulación con los semilleros de investigación. En la mayoría de facultades participantes, estos espacios están limitados a estudiantes de los últimos semestres y no representan ningún incentivo académico para ellos, lo que convierte a los semilleros en una opción secundaria dentro del proyecto formativo. Otro tanto sucede con las prácticas empresariales, las cuales están desarticuladas del trabajo con la academia y se desligan del contexto formador en el que se encuentra el estudiante.

Entre las propuestas que esta mesa de trabajo planteó están las siguientes:

Incluir dentro de las propuestas curriculares aspectos de emprendimiento con componentes gerenciales, hacer un reconocimiento del medio y proyectar las Pymes no sólo como posibles fuentes de prácticas empresariales, sino también con el fin de destacar su importancia y potencialidad en la formación de ingenieros.

Incluir en la estructura académica una política de estímulos a los participantes de grupos de investigación, semilleros y grupos de formación investigativa, integrando estos espacios en la malla curricular, con el objetivo de articular los conocimientos entre asignaturas por medio de proyectos de investigación.

Rescatar la importancia de la innovación dentro de la formación de ingenieros, ya que de esta forma se genera un puente directo entre el pregrado y el postgrado. Esto debe hacerse buscando el respaldo de centros de innovación.

Rescatar el diseño en ingeniería. Los profesionales se han vuelto acopladores de tecnologías existentes y se ha perdido esa componente de creación, innovación y diseño en los nuevos ingenieros.

De forma general y a manera de conclusión se considera que, la estructura académica más adecuada se debe fundamentar en las áreas de ciencias básicas, ciencias básicas de ingeniería, ingeniería aplicada y formación complementaria (ciencias económico-administrativas y socio-humanísticas). En las áreas transversales, se propone incentivar o mejorar la competitividad. Para lograrlo debe surgir a partir de la interacción de tres componentes:

- Currículo flexible
- Semilleros de investigación.
- Centros de innovación + Prácticas empresariales.

Mesa de Trabajo Número 2

Moderadora:

Dora Ángela Hoyos

Universidad de Antioquia.

¿Hacia dónde y cómo deben evolucionar las propuestas curriculares en ingeniería para que promuevan la formación de profesionales con capacidad de crear, innovar y proponer soluciones en las áreas prioritarias de desarrollo para Colombia?

Respecto de la primera pregunta el grupo hizo las siguientes consideraciones:

- Los currículos deben responder a la solución de problemas del entorno local, regional y global. Los problemas y necesidades del entorno deben tenerse identificados y claramente definidos, para poder proponer soluciones específicas desde cada programa de ingeniería, basándose en las fortalezas que posee cada ente académico. Esta propuesta debe estar articulada con la proyección social de los programas, los procesos de pasantía y prácticas empresariales. Una metodología acorde con el currículo propuesto es abordar problemas y, mediante el estudio de casos, tratar de encontrar una solución. Es importante señalar que, a menudo, una buena parte del trabajo de un ingeniero innovador es justamente identificar problemas y estructurarlos para encontrar una solución viable técnica y financieramente. De hecho, un gran reto es encontrar los problemas que vendrán, para anticiparse con soluciones y planes de prevención. Los currículos deben tener contenidos programáticos que contribuyan al desarrollo de la creatividad y favorecer actividades formativas que no sólo involucren el ejercicio de enseñar técnicas.
- La creación de empresa y el emprendimiento deben ser pilares en la formación del ingeniero. En este propósito las universidades deben ser un ejemplo para sus estudiantes, lo que significará favorecer la cultura de producción más que la de consumo.
- La formación por competencias debe pasar del discurso a la realidad. La flexibilidad curricular debe significar el ofrecimiento de cursos electivos que sean interdisciplinarios con otras ingenierías. La aplicación correcta del sistema de créditos, favorece que el estudiante piense y no sólo repita. Adicionalmente, para el sistema de créditos, se propone que los currículos sean diseñados de manera que se cumpla con la intención real del crédito académico, lo que redundará en el número de cursos y de horas que efectivamente deba tomar el estudiante. La conclusión es un manejo adecuado del tiempo asignado a los créditos.

- Debe existir un escenario propicio para formar los docentes. Por ejemplo, los docentes de las universidades deben formarse para que los cursos que imparten favorezcan el pensamiento creativo. Deben considerarse los estudios de casos, las propuestas de planes de negocios y los esquemas de trabajo orientados a la ejecución de proyectos.
- Es importante tener un currículo orientado al trabajo social mediante la existencia de propuestas y el desarrollo de proyectos con proyección social. Además, deben existir prácticas profesionales realmente impactantes para la sociedad y la industria.

¿Qué estructura académica considera más adecuada, en las facultades de ingeniería, desde el punto de vista de la gestión del conocimiento, para promover la innovación y la competitividad en el país?

En cuanto a la segunda pregunta, el grupo hizo las siguientes reflexiones:

- Se hace evidente que hay muchas estructuras, que aunque en algunos casos coinciden entre universidades, tienen diferencias de orden administrativo. A pesar de lo anterior, la problemática es la misma: falta de identidad, problemas para hacer realidad la investigación y la interdisciplinariedad en la investigación y relación efectiva con la sociedad y su entorno.
- La estructura actual es facultad, programas, departamentos o la combinación de ellos. Los departamentos prestan servicios académicos en sentido transversal, lo que genera algún tipo de problemas para los programas, debido a que se pierde identidad al pertenecer los docentes a los departamentos. Para la gestión del conocimiento y su puesta al servicio de la sociedad y de la empresa, se propone la existencia de una unidad, estilo interfaz, que vincule el trabajo académico de las facultades con las necesidades de las comunidades fuera de la universidad.
- Es difícil proponer una estructura típica y uniforme para la organización de los programas de ingeniería, dadas las posibilidades de autonomía que maneja cada institución, su tamaño, sus posibilidades financieras, su naturaleza, sus referentes, sus relaciones con el entorno, etc.

Sin embargo, **a manera de propuesta**, se requiere **la organización de programas por facultad, permeado de departamentos transversales en los cuales haya docentes que a pesar de estar adscritos a los departamentos, se concentren en programas específicos para mejorar los problemas de identidad y productividad que se tienen.**

Como conclusión general de la actividad se puede afirmar que, a mediante las mesas de trabajo, se pudo reflexionar en dos aspectos cruciales en la

enseñanza de la ingeniería, y sobre los cuales se debe seguir trabajando para mejorar: el currículo y la estructura académica. La recomendación para los asistentes a la mesa de trabajo fue llevar esta reflexión a sus instituciones y, con la ayuda de profesores y directivas, mediante un trabajo colectivo, implementar alguna o algunas de las ideas propuestas en la actividad.

Mesa de Trabajo Número 3

Moderador:

Jaime Salazar Contreras

Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

¿Hacia dónde y cómo deben evolucionar las propuestas curriculares y las estructuras académicas en ingeniería para que promuevan la formación de profesionales con capacidad de crear, innovar y proponer soluciones en las áreas prioritarias de desarrollo para Colombia?

Antes de comenzar con la respuesta a la primera pregunta planteada, se considera necesario señalar que las capacidades humanas que demanda la innovación se empiezan a formar desde niño y es desde la escuela donde comienza a gestarse el futuro innovador. La innovación se entiende como la capacidad de generar o encontrar ideas que transformen el estado de las cosas. Seleccionarlas, implementarlas, hacerlas útiles y viables a la sociedad, demanda procesos de gestión; la fuente de las ideas está en la investigación, el desarrollo y la reflexión permanente sobre la experiencia de vida.

La idea de propuesta curricular va mucho más allá que la de un plan de estudios. Desde una perspectiva crítica implica convertir la praxis del docente en ingeniería en objeto de investigación permanente. Difícilmente se puede pensar en estudiantes innovadores con currículos rígidos y estáticos. Se considera entonces que las asignaturas ofrecidas en los planes de estudios deben contener los fundamentos básicos de la ingeniería; ser flexibles en cuanto a su diversidad y áreas de conocimiento; referenciar el contexto geográfico y cultural; involucrar aplicaciones a problemas reales; propiciar el bilingüismo; incentivar la inter y transdisciplinariedad; ser pertinentes y dinámicos, esto es, en evolución permanente. Se considera importante incluir en la innovación aspectos relacionados con los siguientes aspectos: ecología de la innovación, gestión de proyectos y gestión tecnológica, inteligencia de mercados, propiedad intelectual y patrimonial.

Para alcanzar estos propósitos, el docente juega un papel primordial y de él se requiere: una interacción motivante con los estudiantes y el contexto; estar capacitado en procesos de enseñanza y metodologías pedagógicas que hagan posible esa interacción; estar preparado para enfrentar los nuevos retos, en particular para

atender a un estudiante distinto, formado en una cultura con fuerte influencia de la tecnología.

El tema de la innovación implica ir más allá de los planteamientos teóricos y retóricos. En consecuencia, las facultades de ingeniería ofrecen su capacidad instalada y talento humano para construir, juntamente con el Estado y el sector productivo, una política nacional seria y consistente, que permita delimitar las estrategias de acción acordes con las necesidades del país y en consonancia con las dinámicas locales, regionales y globales que procuren el bienestar de la humanidad.

Vale la pena señalar que, generalmente, los cambios curriculares que pretenden lograr o afianzar nuevos atributos en los estudiantes, no están acompañados de una política de formación y motivación para los profesores, y, por otra parte, estos procesos se enfrentan a la resistencia de docentes que, en algunos casos, están próximos a la jubilación.

¿Qué estructura académica considera más adecuada, en las facultades de ingeniería, desde el punto de vista de la gestión del conocimiento, para promover la innovación y la competitividad del país?

Para dar respuesta a la pregunta es importante considerar la articulación docencia – investigación – extensión. En el campo de la docencia es necesario y fundamental tener profesores mejor preparados, tanto en lo pedagógico, como en lo disciplinar; esto implica que las universidades propicien las condiciones para formar a sus docentes en programas de maestrías y doctorados. Así mismo, es necesario tener nuevas formas de trabajo, con colectivos internos y externos, que permitan compartir conocimientos y crear redes en áreas estratégicas de desarrollo, desde luego con el soporte de una buena estructura de investigación en las universidades. Se demanda un cambio cultural en las instituciones que permita compartir el talento humano docente por medio de varias estrategias, entre ellas, la movilidad y pasantías en grupos de investigación, sustentados en estructuras académicas flexibles.

En lo que se relaciona con la gestión para promover la innovación, desde el punto de vista curricular, se propone la metodología de proyectos articuladores, con el apoyo y acompañamiento de las empresas, en donde se vaya afianzando la confianza entre los dos sectores (Universidad – Empresa), de tal manera que la empresa comprenda los tiempos de maduración intelectual de las ideas en los centros de formación y la universidad genere alternativas para atender la pronta solución efectiva y eficiente a los problemas del sector productivo. Para ello es necesario construir escenarios de interacción con las empresas, en los que se articulen la docencia, la investigación y

la extensión. Adicionalmente, como en todos estos procesos, la calidad debe estar presente, por lo cual se hace necesario establecer la autoevaluación permanente, que permita hacer los ajustes oportunos y pertinentes a las propuestas de formación de ingenieros.

**— Ponencias orales,
Pósteres y Expoingeniería —**

La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería convocó la Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería y la Primera Feria de proyectos de ingeniería, Expoingeniería, para reflexionar acerca del tema central del año 2009: “Ciencia, tecnología e innovación, como aporte a la competitividad del país”

El tema propuesto se estudió tanto en los Foros preparatorios como en la Reunión Nacional, analizándolo de acuerdo con los siguientes ejes temáticos: Ciencia, tecnología e innovación en la formación de ingenieros. La gestión del conocimiento científico y tecnológico para la innovación, la competitividad y el compromiso social; Generación de ciencia, tecnología e innovación en las facultades de ingeniería.

La temática planteada convocó a la comunidad académica comprometida en la formación de ingenieros, generando una participación entusiasta. Una muestra de esta participación son los 137 trabajos presentados en la modalidad de ponencias orales y pósteres, fruto del interés y del esfuerzo de los profesores.

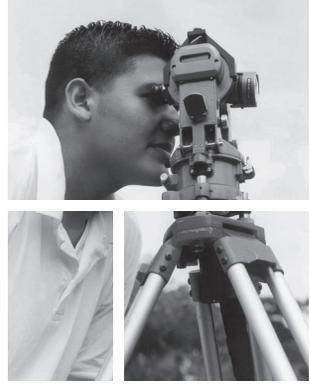
La distribución de los trabajos presentados, de acuerdo con los ejes temáticos, es la siguiente:

- Ciencia, tecnología e innovación en la formación de ingenieros: 67 trabajos
- La gestión del conocimiento científico y tecnológico para la innovación, la competitividad y el compromiso social: 24 trabajos
- Generación de ciencia, tecnología e innovación en las facultades de ingeniería: 46 trabajos

Por primera vez se realizó “Expoingeniería”, una muestra que permitió a cada uno de los grupos presentados mostrar la solidez de su trayectoria por su producción científica y tecnológica, presentar proyectos de alto impacto científico y tecnológico o experiencias de transferencia de tecnología e innovación de la universidad a la industria, involucrar entidades públicas y privadas orientadas a la implementación de desarrollos o mejoras de la gestión organizacional, técnica o científica, presentar resultados y beneficios concretos para la industria, las instituciones y la sociedad. Participaron 18 grupos de investigación de las diferentes categorías establecidas en Colciencias.

Los trabajos presentados por los profesores pueden encontrarse en las memorias de la Reunión Nacional y la descripción de los grupos que participaron en Expoingeniería, está presente en el folleto resumen.

Santa Marta, Colombia, 16 al 18 de septiembre de 2009.



Anexo

Asistentes a los Foros Académicos y a la Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009



ANEXO

Asistentes a los Foros Académicos y a la Reunión Nacional y Expoingeniería ACOFI 2009

Agradecemos muy sinceramente a todos los participantes su contribución a este trabajo, fruto del trabajo de la comunidad académica de ingeniería.

Primer Foro. Barranquilla

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Asoc. de Exalumnos de la Univ. del Cauca	Barranquilla	Luz Helena Melo Narváez
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Jose Luis Ahumada Villafañe
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Manuel de Jesus Alarcón Badillo
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Faisal Bernal Higueta
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Yiniva Camargo Caicedo
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Eduardo Miguel De la Hoz Correa
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Emiro De la Hoz Franco
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Ana Garrido
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Cesar Javier Gil Arrieta
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Jorge Eliecer Hernández M.
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Nadia Judith Olaya Coronado
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Nataly del Rosario Puello Pereira
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Ruben Darío Sánchez Dams
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Ruben Darío Sánchez Dams
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Miguel Serrano Arévalo
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Jaime Vélez Zapata
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Christian Zarur Valderrama
Súper Brix	Barranquilla	Mariano Ghisays
Universidad del Magdalena	Barranquilla	Eduardo Enrique Zurel Varela
Universidad del Norte	Barranquilla	Janeth Acevedo G.
Universidad del Norte	Barranquilla	Carlos Ardila
Universidad del Norte	Barranquilla	Antonio Bula
Universidad del Norte	Barranquilla	Amparo Camacho Díaz
Universidad del Norte	Barranquilla	Erwin Agustín Cano Vargas
Universidad del Norte	Barranquilla	José Rafael Capacho Portilla
Universidad del Norte	Barranquilla	Álvaro J. Castillo Miranda
Universidad del Norte	Barranquilla	Lesmes A. Corredor Martínez
Universidad del Norte	Barranquilla	Jaime Fernando Delgado S.

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad del Norte	Barranquilla	Néstor Durango
Universidad del Norte	Barranquilla	Jose Rafael Escorcía Gutiérrez
Universidad del Norte	Barranquilla	Luis García Llinás
Universidad del Norte	Barranquilla	Lucy Esther García Ramos
Universidad del Norte	Barranquilla	Ángel González
Universidad del Norte	Barranquilla	Frank Alberto Ibarra Hernández
Universidad del Norte	Barranquilla	Nury Logreira
Universidad del Norte	Barranquilla	Alfonso Manuel Mancilla
Universidad del Norte	Barranquilla	Jose Duván Márquez Díaz
Universidad del Norte	Barranquilla	Heriberto Maury
Universidad del Norte	Barranquilla	Javier Navarro
Universidad del Norte	Barranquilla	Ingrid Oliveros
Universidad del Norte	Barranquilla	Alejanadra Pacheco B.
Universidad del Norte	Barranquilla	Javier Páez Saavedra
Universidad del Norte	Barranquilla	Jhonathan Alberto Posada Cáceres
Universidad del Norte	Barranquilla	Iván Saavedra
Universidad del Norte	Barranquilla	Marco Sanjuán Mejía
Universidad del Norte	Barranquilla	José D. Soto Ortíz
Universidad del Norte	Barranquilla	Jaime E. Torres
Universidad del Norte	Barranquilla	Alexander Jairo Torres Osorio
Universidad Libre	Barranquilla	Yussy Cenit Arteta Peña
Universidad Libre	Barranquilla	José Fernando De la Vega
Universidad Libre	Barranquilla	Ingrid Helga Steffanell De León
Universidad Libre	Barranquilla	José Manuel Varela Moron
Universidad Simon Bolivar	Barranquilla	Víctor Alonso Avila Díaz
Universidad Simon Bolivar	Barranquilla	Claudia Patricia Mora Diaz
Universidad Simón Bolívar	Barranquilla	Libardo S. Gómez Vizcaino
Universidad Simón Bolívar	Barranquilla	Nancy Yadira Lizcano Ortíz
ACOFI	Bogotá	Luis Alberto González Araujo
ACOFI	Bogotá	Eduardo Silva Sánchez
Pontificia Universidad Javeriana	Bogotá	Francisco Rebolledo Muñoz
Universidad Sergio Arboleda	Bogotá	Camilo Alberto Triviño Pardo
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Adolfo Arenas L.
Universidad de Cartagena	Cartagena	Pedro Guardela Vásquez
Universidad EAFIT	Medellín	Leonel Francisco Castañeda Heredia
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Hugo Ospina Cano
Universidad de Nariño	Pasto	Nelson Arturo

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Alberto Ocampo Valencia
Universidad del Cauca	Popayan	Leonardo Luiguin Melo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jairo Enrique Altamar López
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Gerardo Luis Angulo Cuentas
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jorge Aragón
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Harlem Cantillo Urbina
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Edwin Causado Rodríguez
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Maryuris Charris Polo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Juan Carlos De la Rosa
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Irene Melisa Granados G.
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jose Ramón Iglesia
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Hugo Jose Mercado
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Ines del C. Mericia Fuentes
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Catherine Pardey Rodríguez
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jelibeth Racedo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Omar Francisco Rodríguez Álvarez
Universidad del Magdalena	Santa Marta	José Rafael Vásquez Polo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Harley Zuñiga C.
Instituto Tecnológico de Soledad	Soledad	Emilio Armando Zapata

Segundo Foro. Medellín

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Ximena Cifuentes Wchima
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Víctor Dumar Quintero Castaño
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Jenny Carolina Ramirez Leal
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	William Arnedo Sarmiento
Universidad del Norte	Barranquilla	Amparo Camacho Díaz
ACOFI	Bogotá	Luis Alberto González Araujo
ACOFI	Bogotá	Eduardo Silva Sánchez
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Carlos Enrique Arroyave Posada
Pontificia Universidad Javeriana	Bogotá	Francisco Javier Rebolledo Muñoz
Universidad de La Salle	Bogotá	Héctor Vega Garzón
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Luis Carlos Gómez Florez
Universidad de Cartagena	Cartagena	Pedro Guardela Vásquez
Institución Universitaria de Envigado	Envigado	Diana Pilar Jiménez Bedoya
Biosgeos Resarch Corporation	Medellín	Luis Ovidio Galvis Caro
Corporación Universitaria Lasallista	Medellín	Luis Fernando Garcés Giraldo

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Corporación Universitaria Lasallista	Medellín	Bernardo León Hoyos Espinosa
Corporación Universitaria Lasallista	Medellín	Walter Lugo Ruiz Castañeda
Corporación Universitaria Lasallista	Medellín	César Augusto Ruiz Jaramillo
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Medellín	Rafael Galindo Monsalve
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Medellín	Lady Janeth Giraldo Ortiz
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Medellín	Lina Ibarra Castrillón
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Medellín	María Victoria Pérez Tobón
Fundación Universitaria Maria Cano	Medellín	Sandra Milena Malavera Pineda
Universidad de Antioquia	Medellín	Dora Angela Hoyos
Universidad de Antioquia	Medellín	Jorge Alberto Jaramillo
Universidad de Antioquia	Medellín	Carlos Mendoza
Universidad de Antioquia	Medellín	Germán Moreno Ospina
Universidad de Antioquia	Medellín	Elkin Libardo Ríos Ortiz
Universidad de Antioquia	Medellín	Carlos Alberto Riveros Jerez
Universidad de Medellin	Medellín	Margarita Maria Hincapie Perez
Universidad de Medellin	Medellín	Fredy Lopez
Universidad de San Buenaventura	Medellín	Angela Maria Galeano Pineda
Universidad de San Buenaventura	Medellín	Carlos Arturo Jaque Delgado
Universidad de San Buenaventura	Medellín	Luis Alberto Tafur Jiménez
Universidad de San Buenaventura	Medellín	Leonel Velasquez Torres
Universidad de San Buenaventura	Medellín	Andres Felipe Villegas Florez
Universidad EAFIT	Medellín	Harvy Correa Herrera
Universidad Nacional de Colombia	Medellín	Alvaro Bastidas G.
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Luis Jairo Atehortua
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Carlos Andrés Bustamante Chaverra
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Carlos Mario Durango Yepes
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Piedad Gañán Rojo
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Angelica Gil Pilonieta
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Mauricio Giraldo Orozco
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Omar Hazbon Alvarez
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Hader Vladimir Martínez Tejada
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Hugo Ospina Cano
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Olga Beatriz Posada Mejia
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Andrés Felipe Ríos Mesa
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Javier Emilio Sierra Carrillo
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Lina Maria Vélez Acosta
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Fabio Castrillón Hernández
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Jairo Estrada Muñoz

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Whady Felipe Florez Escobar
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Gustavo Adolfo Hincapié Llanos
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Cesar Alejandro Isaza Roldan
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Gina Lia Orozco Mendoza
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Adrián Santamaría Moreno
Universidad Católica Popular de Risaralda	Pereira	Jorge Luis Muñoz Montaña
Universidad Católica Popular de Risaralda	Pereira	Luis Eduardo Pelaez Valencia
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Waldo Lizcano Gómez
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Alberto Ocampo Valencia
Universidad Tecnológica del Chocó	Quibdó	Freddy Lozano García

Tercer Foro. Manizales

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad la Gran Colombia	Armenia	Ximena Cifuentes Wchima
Universidad la Gran Colombia	Armenia	Victor Dumar Quintero Castaño
Universidad la Gran Colombia	Armenia	Jenny Carolina Ramirez Leal
Universidad del Norte	Barranquilla	Amparo Camacho Díaz
ACOFI	Bogotá	Luis Alberto González Araujo
ACOFI	Bogotá	Eduardo Silva Sánchez
Pontificia Universidad Javeriana	Bogotá	Francisco Javier Rebolledo Muñoz
Universidad de los Andes	Bogotá	Mauricio Duque Escobar
Universidad Sergio Arboleda	Bogotá	Hernando Camacho
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Adolfo León Arenas Landínez
Universidad de Cartagena	Cartagena	Pedro Guardela Vásquez
Universidad Autónoma de Manizales	Manizales	Alba Patricia Arias Orozco
Universidad Autónoma de Manizales	Manizales	Sandra Victoria Hurtado Gil
Universidad Autónoma de Manizales	Manizales	Fabio M. Peña Bustos
Universidad Autónoma de Manizales	Manizales	Diana Ospina López
Universidad de Manizales	Manizales	Luis Carlos Correa Ortiz
Universidad de Manizales	Manizales	Julián Andrés Largo Trejos
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Carlos Cardona Alzate
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Luis Edgar Moreno
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Ricardo Andrés Ordoy Aristizabal
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Germán Andrés Paredes Estrada
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Sandra Milena Sánchez Mendoza
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Aurora Carolina Torres Carranza

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Edison Ariel Melo Santacruz
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan Camilo Morales Rojas
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan Carlos López Cardona
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Andrés Eduardo Castro Ospina
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan Manuel Hurtado Rendón
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Efraín Grisales Ramírez
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Sebastián Guarín Muñoz
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Margarita Mejía Gaviria
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan Pablo Ángel López
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Tatiana Arias Giraldo
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Felipe Escobar V.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	David González V.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan García V.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan David Márquez Y.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Carlos Enrique Parra R.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan Sebastián Padilla G.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Andrés Felipe Rojas Muñoz
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Camilo Agudelo Valencia
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Julián Naranjo García
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Sandra Sandil Goyes
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Diana Huertas
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Carlos A. Guerrero V.
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Andrés Felipe Giraldo Forero
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Juan Andrés Ruíz Tobar
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Cesar A. Aguirre Echeverry
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Wilmar Osirio
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Jaime Antero Arango Marín
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Waldo Lizcano Gómez
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Alberto Ocampo Valencia
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Alvaro Orozco
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Julian David Echeverry Correa
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Luz Stela Restrepo
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Ana María López E.
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	José Gilberto Vargas Cano
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Wilson Arenas V.
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Eduardo Roncacio
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Edison Duque

Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería y Expoingeniería ACOFI 2009

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad del Quindío	Armenia	José Fernando Echeverry Murillo
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Francy Julieth Rojas Ospina
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Jenny Carolina Ramírez Ieal
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Maritza Torres Barrero
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Víctor Dumar Quintero
Universidad del Quindío	Armenia	Elkin Aníbal Monsalve Durango
Universidad del Quindío	Armenia	Magda Ivonne Pinzón Fandiño
Universidad del Quindío	Armenia	Sergio Augusto Cardona Torres
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Luis Miguel Mejía Giraldo
Universidad La Gran Colombia	Armenia	Ximena Cifuentes Wchima
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería	Barranquilla	Luis Carlos Sierra Ropain
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Rubén Darío Sánchez Dams
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Armando Robledo Acosta
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Carlos Henríquez Miranda
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Fabián Ramos Torres
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Oswaldo Chamorro Altahona
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Valmiro Maldonado Álvarez
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Yiseth Colón Mendingueta
Universidad del Atlántico	Barranquilla	Ana Sofía Mesa de Cuervo
Universidad del Norte	Barranquilla	Luis Ramírez
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	César Javier Gil Arrieta
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Darwin Ramiro Mercado Polo
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Eduardo Miguel De la Hoz Correa
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Fairuz Violette Ospino Valdiris
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Faisal Bernal Higueta
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Jaime Vélez Zapata
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Jorge Eliécer Hernández Mercado
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Milen Balbis Morejón
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Nadia Olaya Coronado
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Nayib Moreno
Corporación Universitaria de la Costa	Barranquilla	Olga Marina Martínez Palmera
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Pablo Daniel Bonaveri
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	Shirley Ortega
Universidad Autónoma del Caribe	Barranquilla	William Arnedo Sarmiento

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad del Atlántico	Barranquilla	Juan Carlos Campos Avella
Universidad del Norte	Barranquilla	Amparo Camacho Díaz
Universidad del Norte	Barranquilla	Antonio Bula
Universidad del Norte	Barranquilla	Carlos Paternina
Universidad del Norte	Barranquilla	Christian Quintero Monroy
Universidad del Norte	Barranquilla	Heriberto Enrique Maury Ramírez
Universidad del Norte	Barranquilla	Humberto Ávila Rangel
Universidad del Norte	Barranquilla	Iván Saavedra
Universidad del Norte	Barranquilla	Javier Páez Saavedra
Universidad del Norte	Barranquilla	Jorge Bris Cabrera
Universidad del Norte	Barranquilla	José Daniel Soto Ortiz
Universidad del Norte	Barranquilla	José Duván Márquez Díaz
Universidad del Norte	Barranquilla	Juan Carlos Vélez
Universidad del Norte	Barranquilla	Manuel Alvarado
Universidad del Norte	Barranquilla	Marco Antonio Sanjuán Mejía
Universidad del Norte	Barranquilla	Mario Esmeral Palacio
Universidad Libre	Barranquilla	Iván Enrique Quintero Hoyos
Universidad Simón Bolívar	Barranquilla	René Ramirez Fernández
ACOFI	Bogotá	Eduardo Silva Sánchez
ACOFI	Bogotá	José Miguel Solano Araujo
ANEIAP	Bogotá	Carmen Alicia Gómez
ANEIAP	Bogotá	Kandy Barrios
Biosgeos Research Corporation	Bogotá	Luis Ovidio Galvis
Colciencias	Bogotá	Carlos Fonseca
Colciencias	Bogotá	Jorge Alonso Cano
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Bogotá	Diana Janeth Lancheros Cuesta
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Bogotá	Jhon Francined Herrera Cubides
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Javier Chaparro Preciado
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Luis Eduardo Rodríguez
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Patricia Salazar
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Vicente Albéniz Laclaustra
FESTO Ltda.	Bogotá	Rodrigo Guarnizo
Fundación Universitaria Konrad Lorenz	Bogotá	Pervys Rengifo Rengifo
Fundación Universitaria Los Libertadores	Bogotá	Héctor Díaz Ángel
Magna Group International Services Ltda.	Bogotá	Jorge Mora
Magna Group International Services Ltda.	Bogotá	Patricia Santos
Multimedia Service Ltda.	Bogotá	Andrés Fabián Tiraján
Multimedia Service Ltda.	Bogotá	Francisco Alejandro Villate

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Carlos Eduardo Muñoz Rodríguez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Edgar Emir González Jiménez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	José Adalberto Páez Escalante
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Omayra Parra de Marroquín
Uniciencia	Bogotá	Guillermo Azael Peña Herrera
Uniciencia	Bogotá	José del Carmén Rodríguez Beltrán
Uniciencia	Bogotá	Óscar Eduardo Orozco Sánchez
Universidad Autónoma de Colombia	Bogotá	Antonio García Prieto
Universidad Autónoma de Colombia	Bogotá	Eduardo Ocampo Ferrer
Universidad Autónoma de Colombia	Bogotá	Rafael Camerano Fuentes
Universidad Católica de Colombia	Bogotá	Edgar López
Universidad Central	Bogotá	Adolfo José Naranjo Parra
Universidad Central	Bogotá	Fernando Mejía Umaña
Universidad Central	Bogotá	Horacio Castellanos Aceros
Universidad Central	Bogotá	Juan Manuel Chaparro Guzmán
Universidad Central	Bogotá	Leonardo Calle Páez
Universidad Central	Bogotá	Misael Nova Jiménez
Universidad Central	Bogotá	Naliny Patricia Guerra
Universidad Central	Bogotá	Raúl Darío Dueñas Quevedo
Universidad de América	Bogotá	Ana Josefa Herrera V.
Universidad de América	Bogotá	Claudio Bernal
Universidad de América	Bogotá	Julio César Fuentes
Universidad de América	Bogotá	María Cristina Torres
Universidad de Medellín	Bogotá	Carlos López
Universidad Distrital	Bogotá	Jesús Augusto Guzmán Lozano
Universidad Distrital	Bogotá	Roberto Ferro Escobar
Universidad El Bosque	Bogotá	Mario Fernando Castro
Universidad El Bosque	Bogotá	Milena Margarita Fuentes Cotes
Universidad La Gran Colombia	Bogotá	Germán Urdaneta
Universidad Libre	Bogotá	Álvaro Rojas Daza
Universidad Libre	Bogotá	Andrés Felipe Suárez Escobar
Universidad Libre	Bogotá	Gloria Amparo Molina Herrera
Universidad Libre	Bogotá	Jairo Sierra
Universidad Libre	Bogotá	John Alejandro Forero Casallas
Universidad Libre	Bogotá	Jorge René Silva Larrota
Universidad Libre	Bogotá	Pablo Emilio Bonilla Luque
Universidad Militar Nueva Granada	Bogotá	Luis Eduardo Llano
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Carlos Eduardo Cubillos Peña

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Jaime Salazar Contreras
Universidad Piloto de Colombia	Bogotá	Jeannette Bermúdez Rojas
Universidad Piloto de Colombia	Bogotá	Jorge Enrique Molina Zambrano
ACOFI	Bogotá	Arley Palacios Chavarro
ACOFI	Bogotá	Janeth Pineda Molina
ACOFI	Bogotá	Luis Alberto González Araujo
ACOFI	Bogotá	Luis Ernesto Blanco Rivero
ACOFI	Bogotá	Simón Andrés De León Novoa
ACOFI, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Francisco Javier Rebolledo Muñoz
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería	Bogotá	José Olegario Nemeth Esquinas
Corp. Unificada Nacional de Educación Superior	Bogotá	Pedro Ayala Mojica
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Bogotá	Manuel Fernando Dávila Sguerra
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Bogotá	Néstor Hugo Monroy García
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Bogotá	Viviana Garzón
E.S. Instrumentación - National Instruments	Bogotá	Mónica Guarín Castañeda
E.S. Instrumentación - National Instruments	Bogotá	Catalina Peña Echavarría
Electroequipos	Bogotá	Carlos Arturo Oyarzun González
Electroequipos	Bogotá	Juan Carlos Cristancho Sierra
Electroequipos	Bogotá	Julio César Aguilar Martínez
Electroequipos	Bogotá	María del Pilar Hernández Calderón
Electroequipos	Bogotá	María Mercedes Burgos Ocampo
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Carlos Enrique Arroyave Posada
Escuela Colombiana de Ingeniería	Bogotá	Javier Botero Álvarez
FESTO Ltda.	Bogotá	Aída Constanza Benavides Moncada
Fundación Universitaria Agraria de Colombia	Bogotá	Rubén Darío Ochoa Arbeláez
Fundación Universitaria Los Libertadores	Bogotá	Doris Hernández Dukova
Ministerio de Educación Superior	Bogotá	Gabriel Burgos Mantilla
Politécnico Gran Colombiano	Bogotá	Javier Alonso Arango Pardo
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Adriana Gómez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Alexandra Pomares Quimbaya
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Andrea Bohórquez Sandoval
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Andrés Ayala
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Andrés Torres
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Andrés Giuseppe Barbato Zarama
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Blanca Cecilia Pérez Muzuzu

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Carlos Alberto Parra Rodríguez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	César Julio Bustacara Medina
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Francisco José Guerrero Bolaño
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Fredy Alberto Reyes Lizcano
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Gabriel Mauricio Zambrano Rey
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Germán Alberto Chavarro Flórez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Giovanna Fiorillo Obando
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Hermes Ariel Vacca Gámez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	John Alexander Méndozza García
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	José Ignacio Acevedo Gordo
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Luis Alejandro Castelblanco Morales
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Luis Carlos Díaz Chaparro
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	María Patricia León Neira
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Martha Patricia Caro Gutiérrez
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Martha Ruth Manrique Torres
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Nelson Obregón Neira
Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá	Bogotá	Roberto Enrique Montoya Villa
Software Shop	Bogotá	Claudia Margarita Sánchez Marzán
Software Shop	Bogotá	Miguel Ariza Triviño
Universidad Católica de Colombia	Bogotá	Alfonso Lozano
Universidad Católica de Colombia	Bogotá	Luz Mayela Ramírez
Universidad Católica de Colombia	Bogotá	Rafael Pérez
Universidad Central	Bogotá	Aliex Trujillo
Universidad Central	Bogotá	Julio Mario Rodríguez Devis
Universidad Central	Bogotá	Olga Yaneth Vásquez Ochoa
Universidad Cooperativa de Colombia	Bogotá	Howeimer Alexis Peña Ardila
Universidad Cooperativa de Colombia	Bogotá	Óscar Javier Herrera Ochoa
Universidad Jorge Tadeo Lozano	Bogotá	Edgar Mauricio Vargas Solano
Universidad de Ciencias Agropecuarias	Bogotá	Adriana Posada Arrubla
Universidad de La Salle	Bogotá	Héctor Vega
Universidad de La Salle	Bogotá	Jairo Orlando Montoya Gómez
Universidad de La Salle	Bogotá	Javier Francisco Rey Rodríguez
Universidad de La Salle	Bogotá	José Antonio Tumialán Borja
Universidad de La Salle	Bogotá	Margarita Rosa Rendón
Universidad de los Andes	Bogotá	José Tiberio Hernández Peñalosa
Universidad de los Andes	Bogotá	María Catalina Ramírez Cajiao
Universidad de los Andes	Bogotá	Mauricio Duque Escobar

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad de los Andes	Bogotá	Nicolás Ochoa
Universidad de los Andes	Bogotá	Rafael Gómez
Universidad Distrital	Bogotá	Álvaro Espinel Ortega
Universidad Distrital	Bogotá	Edilberto Suárez Torres
Universidad Distrital	Bogotá	Frank Nixon Giraldo Ramos
Universidad Distrital	Bogotá	Germán López Martínez
Universidad Distrital	Bogotá	Héctor Alfonso Pinzón López
Universidad Distrital	Bogotá	Helmuth Edgardo Ortiz Suárez
Universidad Distrital	Bogotá	Juan Carlos Guevara Bolaños
Universidad Distrital	Bogotá	Julio Barón Velandia
Universidad Distrital	Bogotá	Luz Esperanza Bohórquez Arévalo
Universidad Distrital	Bogotá	Marcela Martínez Camargo
Universidad Distrital	Bogotá	Miller Gómez Mora
Universidad Distrital	Bogotá	Nelson Eduardo Rodríguez Montaña
Universidad Distrital	Bogotá	Víctor Alberto Ruiz Rosas
Universidad Libre	Bogotá	Iván Darío Gómez Lozano
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Dave Machado López
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Diana Jiménez Agudelo
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Diana Cristina Ramírez Martínez
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Flavio Augusto Prieto
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Gerardo Rodríguez Niño
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	John Fabio Acuña Caita
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Luis Eduardo Benítez Hernández
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Luis Eduardo Gallego
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Martha Patricia Camargo Martínez
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Óscar Fernando Castellanos Domínguez
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Otoniel Sanabria
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Pablo Rodríguez
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Sonia Esperanza Monroy Varela
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Yoan Pinzón
Universidad Santo Tomás	Bogotá	Óscar Baquero Ángel
Universidad Santo Tomás	Bogotá	Vicente Becerra Reyes
Universidad Sergio Arboleda	Bogotá	Adriana Cecilia Páez Pino
ACOFI	Bogotá	Alix Rubiela Beltrán
Universidad Autónoma de Bucaramanga	Bucaramanga	Wilson Briceño Pineda
Universidad de Santander	Bucaramanga	Guillermo Beltrán Dulcey

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Alfonso García
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Carlos Vecino
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Miguel Enrique Higuera Marín
Universidad Autónoma de Bucaramanga	Bucaramanga	Antonio Faustino Muñoz
Universidad de Santander	Bucaramanga	Yasmit Mayorga Mejía
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Adolfo León Arenas Landínez
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Germán García Vera
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Leidy Carolina Sarmiento Delgado
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Luis Carlos Gómez Flórez
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Luis Eduardo Becerra Ardila
Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Ramiro Martínez Rey
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Diana Teresa Gómez Forero
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Graciela Morantes Moncada
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Ivonne Cecilia Lacera Cortés
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Lupita Serrano Gómez
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Marco Antonio Villamizar Araque
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Miguel Ángel Reyes Orozco
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Samuel Montero Vargas
Universidad Pontificia Bolivariana	Bucaramanga	Victoria Helena Pérez Goelkel
Universidad Santo Tomás	Bucaramanga	William Razvan Castro Jaluba
Corporación Universitaria Lasallista	Caldas	Álvaro de Jesús Arango Ruiz
Universidad de Caldas	Caldas	Adela María Ceballos Peñaloza
Universidad de Caldas	Caldas	José Fernando Castellanos Galeano
Universidad de Caldas	Caldas	Félix Octavio Díaz Arango
Universidad del Valle	Cali	Gladys Rincón Bergman
Universidad Icesi	Cali	Gonzalo Ulloa
Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”	Cali	Ricardo Javier Paredes Muñoz
Pontificia Universidad Javeriana, Cali	Cali	John Edwer Escobar Osorio
Pontificia Universidad Javeriana, Cali	Cali	Jorge Francisco Estela Uribe
Universidad del Valle	Cali	Eduardo Francisco Caicedo Bravo
Universidad del Valle	Cali	José Miguel Ramírez Scarpetta
Universidad Icesi	Cali	Ana María Orozco Idrobo
Universidad Icesi	Cali	Andrés Navarro Cadavid
Universidad Icesi	Cali	Francisco Piedrahita Plata
Universidad Libre	Cali	Fabián Castillo Peña
Escuela Naval de Cadetes “Almirante Padilla”	Cartagena	Luis Alberto Ordóñez Rubio

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla"	Cartagena	Germán Adolfo García Castellanos
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Andrés Mauricio Bahamón Restrepo
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Angélica Lucía Echávez Duncan
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Biviana Ramírez Cardona
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Erick Santiago Torres Flórez
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Grety Carolina Orozco Escorcía
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Gustavo Escudero Fernández
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Natividad Villabona Gómez
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Raynel Alfonso Mendoza Garrido
Fund. Universitaria Tecnológico Comfenalco	Cartagena	Suad Eliana Pineda Núñez
Universidad de Cartagena	Cartagena	Luis Monroy Rodríguez
Universidad de Cartagena	Cartagena	Pedro José Guardela Vásquez
Universidad Tecnológica de Bolívar	Cartagena	Jennifer Yoris Vásquez Aguilar
Universidad Tecnológica de Bolívar	Cartagena	José Luis Villa Ramírez
Universidad Tecnológica de Bolívar	Cartagena	Luis Carlos Arraut Camargo
Universidad Tecnológica de Bolívar	Cartagena	Luis Ignacio Morales Eckardt
Universidad Tecnológica de Bolívar	Cartagena	Martha Sofía Carrillo Landazábal
Universidad de La Sabana	Chía	Arturo De Zan
Universidad de La Sabana	Chía	Fernán Guzmán Sánchez
Universidad de La Sabana	Chía	José Mauricio Pardo Benito
Martinez Patents P.C.	EE. UU.	John Jairo Martínez
University Massachusetts	EE. UU.	Krishna Murti Vedula
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Andrés Torres Velásquez
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Carlos Rodríguez Lalinde
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Carlos Felipe Londoño Álvarez
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Lucía Victoria Ospina Cardona
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Olga Lucía Ocampo Toro
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Catalina Pineda Molina
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Roberto Carlos Ochoa Jiménez
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Envigado	Rubén Darío Hernández Pérez
Institución Universitaria de Envigado	Envigado	Jonier de Jesús Rendón Prado
Universidad de Cundinamarca	Fusagasugá	Jorge Luis Reales Sánchez
Universidad de Cundinamarca	Fusagasugá	José Omar Luna Carvajal
Universidad Cooperativa de Colombia	Ibagué	Ángel Antonio Rojas García
Universidad Cooperativa de Colombia	Ibagué	Juan Pablo Oviedo Roa
Universidad de Ibagué	Ibagué	Gloria Piedad Barreto Bonilla
Universidad del Tolima	Ibagué	Rafael Vargas Ríos

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Autónoma de Manizales	Manizales	Diana Yomali Ospina López
Universidad Católica de Manizales	Manizales	Sebastián Pacheco
Universidad de Caldas	Manizales	Miguel Humberto Mazzeo Meneses
Universidad Autónoma de Manizales	Manizales	Fabio Marcelo Peña Bustos
Universidad de Caldas	Manizales	José Fernando González Aristizábal
Universidad de Caldas	Manizales	Pedro José Barragán Arango
Universidad de Manizales	Manizales	José Fernando Mejía Correa
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Ernesto Pérez
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	José Nélon Rojas Grisales
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	William Ariel Sarache Castro
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Diego Alexander Escobar García
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Luis Edgar Moreno Montoya
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Luis Fernando García Londoño
Universidad Nacional de Colombia	Manizales	Sneyder Rodríguez Barona
Industrias Haceb	Medellín	César Augusto Vanegas Pérez
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Medellín	Julián Fernando Gómez López
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Medellín	Luis Alfredo Aguilar Roldán
Universidad de Antioquia	Medellín	Elkín Libardo Ríos Ortiz
Universidad de Antioquia	Medellín	Francisco Javier Cadavid Sierra
Universidad de Antioquia	Medellín	Jairo A. Ruiz Córdoba
Universidad de Medellín	Medellín	Martha María Gil Zapata
Universidad Nacional de Colombia	Medellín	Juan Manuel Vélez Restrepo
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Piedad Gañán Rojo
Instituto Tecnológico Metropolitano	Medellín	José Leonardo Ramírez Echavarría
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Medellín	Juan Diego Porras Vanegas
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Medellín	Libardo Antonio Londoño Ciro
Tecnológico Pascual Bravo	Medellín	Edgar Mario Rico Mesa
Universidad de Antioquia	Medellín	Dora Ángela Hoyos Ayala
Universidad de Antioquia	Medellín	Haydée Beltrán Urán
Universidad de San Buenaventura	Medellín	Marta Cecilia Meza Peláez
Universidad EAFIT	Medellín	Arnold Rafael Martínez Guarín
Universidad EAFIT	Medellín	Ronald Martinod
Universidad Nacional de Colombia	Medellín	Demetrio Arturo Ovalle Carranza
Universidad Nacional de Colombia	Medellín	Francisco Javier Arias Sánchez
Universidad Nacional de Colombia	Medellín	Javier González Ocampo
Universidad Nacional de Colombia	Medellín	Jorge Iván Gómez Gómez

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Hugo Ospina Cano
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Mauricio Toro López
University of Wisconsin	Milwaukee	Ronald Pérez
Universidad de Córdoba	Montería	Carlos Antonio Vega Atencia
Universidad de Córdoba	Montería	Harold Dionisio Bula
Universidad de Córdoba	Montería	José Orlando Montes de la Barrera
Universidad de Córdoba	Montería	Pierre Augusto Peña Salgado
Universidad de Córdoba	Montería	Zoraya Jaskuine Martínez Lara
Universidad Pontificia Bolivariana	Montería	Januario Hernández
Universidad Surcolombiana	Neiva	Eduardo Pastrana Bonilla
Chaudhary Charan Singh University	Nueva Delhi	Rakesh Kumar Soni
Universidad Francisco de Paula Santander	Ocaña	Torcoroma Velasquez Pérez
Universidad de Pamplona	Pamplona	Óscar Augusto Fiallo
Institución Universitaria Cesmag	Pasto	Anivar Néstor Chaves Torres
Institución Universitaria Cesmag	Pasto	José María Muñoz Botina
Universidad de Nariño	Pasto	Francisco Emilio Argote Vega
Universidad de Nariño	Pasto	Jaime Orlando Ruiz
Universidad de Nariño	Pasto	Néilson Edmundo Arturo
Universidad Mariana	Pasto	Hernán Darío Zamora Zamora
Universidad Mariana	Pasto	Iván Darío Bastidas Castellanos
Universidad Mariana	Pasto	Jaime Darío Quijano Melo
Universidad Mariana	Pasto	José Javier Villalba Romero
Universidad Católica Popular del Risaralda	Pereira	Luis Eduardo Peláez Valencia
Universidad Libre	Pereira	Adán Silvestre
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Alberto Ocampo Valencia
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Álvaro Andrés Orozco Gutiérrez
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Ana María López Echeverry
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Carlos Mauricio Zuluaga Ramírez
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	César Jaramillo Naranjo
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Eduardo Roncancio Huertas
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Erika Echeverry Londoño
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Hugo Armando Gallego Becerra
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	José Gómez Espíndola
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	José Alfredo Jaramillo Villegas
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	José Gilberto Vargas Cano
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Juan Fernando López Rendón
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Julián Andrés Quintero Quintero
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Julián David Echeverry Correa

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Laura Angélica Mejía Ospina
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Lisbeth Carolina Pava García
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Luis Carlos Ríos
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Luis Enrique Llamosa Rincón
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Luz Stella Restrepo de Ocampo
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Patricia Espinosa López
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Paula Andrea Guapacha Ramos
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Ramiro Andrés Barrios Valencia
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Waldo Lizcano Gómez
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	William Ardila Urueña
Universidad Tecnológica de Pereira	Pereira	Wilson Arenas Valencia
Corasfaltos	Piedecuesta	Magda Milena Flórez Landazábal
Universidad Cooperativa de Colombia	Popayán	Nidia Quintero Peña
Universidad del Cauca	Popayán	Miguel Corchuelo
Universidad del Cauca	Popayán	Yenny Alexandra Méndez Alegría
Universidad Tecnológica del Chocó	Quibdó	Leidy Viáfara
Universidad Tecnológica del Chocó	Quibdó	Mélida Martínez Guardia
Universidad Tecnológica del Chocó	Quibdó	Fredy Lozano García
Universidad Tecnológica del Chocó	Quibdó	Alicia Ríos Hurtado
Universidad Tecnológica del Chocó	Quibdó	Yesid Emilio Aguilar Lemus
Universidad de la Guajira	Riohacha	Wilson G. Ustariz M.
Fundación Universitaria de San Gil	San Gil	Wilson Gamboa Contreras
Fundación Universitaria de San Gil	San Gil	William Guerrero Salazar
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Adriana Hernández Manjarrés
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Ángela Estrada
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Daniel Alfonso Lizarazo Cómbita
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Diego Armando Arguello Guerrero
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Ernesto Galvis
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Guillermo Liñan Montenegro
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Illina Bolaños Gutiérrez
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jineth López Pertuz
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Johana Barros Pérez
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Johana Marina Altamar Buelvas
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jorge Armando Vargas
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Kareen Lorena Zamora
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Katherina Amarís Araujo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Lina Castillo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Lionar Darney Martínez Martínez

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Luis Manuel Meriño Cajar
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Roxana Paola Nieto
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Ruthber Antonio Escorcia Caballero
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Sabina Edith Rada Mendoza
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Sandra Johana Bastidas
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Yudeisy Mancilla
Presentador	Santa Marta	Elkin Carbonó
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Álvaro Castillo Miranda
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Andrés Mauricio Vélez Pereira
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Gerardo Angulo C.
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Harley Zúñiga Clavijo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Hugo José Mercado Cervera
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Inés Meriño Fuentes
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jairo Enrique Altamar López
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jelibeth Racedo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Jorge Aragón Russo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	José Vásquez Polo
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Juan Carlos De la Rosa
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Luis Othon Gómez Rueda
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Mayda Patricia González Zabala
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Nélson Virgilio Piraneque Gambasica
Universidad del Magdalena	Santa Marta	Omar Rodríguez Álvarez
Universidade de Sao Paulo	Sao Paulo	Adnei Melges de Andrade
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Sogamoso	Consuelo Ruiz Cárdenas
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Sogamoso	Liliana Fernández Samacá
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Sogamoso	Eduardo Rincón Becerra
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Sogamoso	Héctor Antonio Fonseca Peralta
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Sogamoso	José Jairo Espitia Niño
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Sogamoso	Orlando Vergel Portillo
Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico	Soledad	Emilio Armando Zapata
Chalmers University of Technology	Suecia	Goran Wall
Unidad Central del Valle del Cauca	Tuluá	Diego Alexander Gómez Gómez
Unidad Central del Valle del Cauca	Tuluá	Rodrigo José Herrera Hoyos
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Tunja	Yaneth Pineda Triana
Universidad de Boyacá	Tunja	Carlos Rafael Lara Mendoza
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Tunja	Gonzalo Riaño Salamanca
Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia	Tunja	Jorge Humberto Saavedra

INSTITUCIÓN	CIUDAD	NOMBRE
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería	Valledupar	Aura Beatriz Durán Loaiza
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería	Valledupar	Juliet Giraldo Sanabria
Universidad Popular del Cesar	Valledupar	Clarivel Parra Ditta
Universidad Popular del Cesar	Valledupar	Franklin Mejía Padilla
Universidad Popular del Cesar	Valledupar	Omaira Tapias Díaz

Este libro se terminó de imprimir en la ciudad de Bogotá, D.C. Colombia, en marzo de 2010,
en los talleres de Opciones Gráficas Editores Ltda.

